

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO DE UMA HABITAÇÃO PARA CONDIÇÕES DE SERVIÇO

PEDRO HENRIQUE ALMEIDA MOREIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

**À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ÁREA CIENTÍFICA**



AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO DE UMA HABITAÇÃO PARA CONDIÇÕES DE SERVIÇO

PEDRO HENRIQUE ALMEIDA MOREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de
Almeida

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão

«Everything should be made as simple as possible, but not simpler».

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A elaboração e desenvolvimento deste trabalho só foi possível graças ao apoio e colaboração de um conjunto de pessoas. Agradeço a todos aqueles que me acompanharam durante este percurso, aos professores que tornaram este trabalho possível, aos meus amigos e aos meus pais pela ajuda manifestada durante este período crucial da minha vida. Quero expressar os meus agradecimentos de uma forma especial:

- A toda a minha família, principalmente aos meus pais por terem estado sempre presentes ao longo desta caminhada; sem eles não teria sido possível;
- À professora Eva Barreira, pelo conhecimento, disponibilidade, sugestões, tempo de dedicação entregue a este trabalho e pela revisão crítica do mesmo;
- Ao professor Ricardo Almeida, pela atenção criteriosa, tempo, sugestões e conhecimento dedicado ao presente trabalho e pelos comentários cuidados do mesmo;
- Ao Laboratório de Física de Construções da FEUP, pela disponibilização do material utilizado na campanha experimental;

RESUMO

Os edifícios necessitam de ventilação permanente ao longo do seu período de vida.

A ventilação é necessária para proporcionar aos ocupantes dos edifícios um ambiente interior saudável e confortável. A principal tarefa da ventilação é a de eliminar o ar interior contaminado de um edifício e substituí-lo por ar fresco e limpo proveniente do exterior.

O trabalho desenvolvido na presente dissertação foca-se sobretudo na avaliação do caudal de ventilação de uma habitação em particular para compreender melhor a sua real situação nesta temática.

Apresenta-se uma descrição dos sistemas ventilação disponíveis e respetivas vantagens e inconvenientes.

Optou-se por escolher, como casos de estudo, os compartimentos com maior permanência de pessoas durante todo o dia e situados em pisos diferentes, com orientações solares diferentes. O clima exterior foi medido e caracterizado através de uma estação meteorológica.

A campanha experimental baseou-se na utilização no método do gás traçador e na técnica do declive tendo sido executado um número elevado de ensaios em diferentes condições de utilização dos espaços, com variação de condições de fronteira, nomeadamente com porta aberta e com porta fechada.

Os dados recolhidos foram devidamente tratados e analisados na correlação com as ações externas, principalmente com a velocidade do vento, fator determinante para a eficiência da ventilação natural. Os resultados foram apresentados em gráficos e quadros de forma a permitir uma melhor perceção da qualidade do ar interior dos compartimentos em estudo.

Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como propostas de melhoria para a eficácia do sistema de ventilação da habitação e propostas de desenvolvimentos futuros deste tema.

PALAVRAS-CHAVE: Taxa de ventilação, Método do gás traçador, Qualidade do ar, Técnica do declive, Ventilação natural.

ABSTRACT

Buildings require permanent ventilation throughout their lifetime.

Ventilation is necessary to provide occupants a healthy and comfortable indoor environment. The main task of ventilation is to remove the contaminated air inside of a building and replace it with fresh, clean air from outside.

The focus of the present work is mainly on the assessment of the ventilation flow of a dwelling in a single zone to better understand their real situation on this issue. It is presented a description of the ventilation systems available and their advantages and disadvantages.

We opted to choose, in all case studies, divisions of the house where more people most use to occupy and also which were located on different floors with different orientations to the sun. The outdoor climate was measured and characterized by a weather station.

The experimental campaign was based on the use of the tracer gas method with the slope technique. A high number of tests were performed in different conditions of use of spaces, with varying boundary conditions, in particular with opened and closed door.

The collected data was properly processed and analyzed in correlation with external parameters, especially with the wind speed, determining the factor for the efficiency of natural ventilation. The results were presented in graphs and tables to allow a better understanding of indoor air quality of the single zones under study.

Finally, the conclusions of the work were presented, and also some suggestions for improvements to the efficiency of the ventilation system of buildings and also some proposals for future developments of this theme.

KEYWORDS: ventilation rate, tracer gas method, air quality, decay method, natural ventilation

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
1.4. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	5
2. VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	5
2.1. PROCESSOS OU MECANISMOS DE VENTILAÇÃO	5
2.1.1. CONCEITO DE VENTILAÇÃO	5
2.1.2. VENTILAÇÃO NATURAL	8
2.1.2.1 Ventilação natural pela ação do vento	9
2.1.2.2 Ventilação natural pela ação térmica – efeito chaminé	9
2.1.2.3 Ventilação natural por combinação de efeitos	11
2.1.3. VENTILAÇÃO MECÂNICA	12
2.1.3.1 Extração mecânica	12
2.1.3.1 Insuflação mecânica	12
2.1.3.1 Sistema balanceado	13
2.1.4. VENTILAÇÃO HÍBRIDA	14
2.2. OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA DE UMA VENTILAÇÃO EFICAZ	15
2.3. DEFICIÊNCIAS MANIFESTADAS NOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	16
2.4. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DOS EDIFÍCIOS	16
2.4.1. ENQUADRAMENTO	16
2.4.2. POLUENTES E SUBSTÂNCIAS CONTAMINANTES	18
2.4.3. EXIGÊNCIAS LEGISLATIVAS E NORMATIVAS	19
2.5. TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO	20
2.5.1. MÉTODO DO GÁS TRAÇADOR	20
2.5.2. ESTIMATIVA DO VALOR DE PRODUÇÃO DE CO ₂	24

3. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	27
3.1. CASO DE ESTUDO	27
3.1.1. DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO	27
3.1.2. COMPARTIMENTOS EM ESTUDO	29
3.2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	30
3.2.1. AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES INTERIORES	30
3.2.2. AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES EXTERIORES	36
4. RESULTADOS	39
4.1. CARATERIZAÇÃO DOS CLIMA EXTERIOR E INTERIOR	39
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR	39
4.1.1.1 Temperatura	39
4.1.1.2 Humidade relativa	40
4.1.1.3 Direção do vento	41
4.1.1.4 Velocidade do vento	42
4.1.2. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA INTERIOR	44
4.1.2.1 Temperatura	44
4.1.2.2 Humidade relativa	47
4.2. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂	50
4.3. TAXAS DE VENTILAÇÃO	52
4.3.1. TAXAS DE RPH AVALIADAS ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	52
4.3.2. TAXAS DE RPH AVALIADAS ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO DE SF ₆	54
4.3.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS	54
5. DISCUSSÃO	59
5.1. RPH (CO₂) VS RPH (SF₆)	59
5.1.1. SALA - PORTAS FECHADAS	59
5.1.2. SALA – PORTAS ABERTAS	60
5.1.3. QUARTO – PORTAS FECHADAS	61
5.1.4. QUARTO– PORTAS ABERTAS	62
5.2. RPH (CO₂) VS RPH (SF₆) VS CONDIÇÕES EXTERIORES	64
5.2.1. VELOCIDADE DO VENTO	64
5.2.2. DIFERENÇA DE TEMPERATURA	69

6. CONCLUSÃO	73
6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS	73
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	74
6.2.1. PROPOSTAS DE MELHORIA DA HABITAÇÃO EM ESTUDO	74
6.2.2. DESENVOLVIMENTOS GERAIS	74
 BIBLIOGRAFIA	 75
 ANEXOS	 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Desenvolvimento dos sistemas de ventilação	6
Figura 2.2 – Distribuição de pressões nas fachadas de um edifício de planta retangular (corte vertical e planta).....	9
Figura 2.3 – Ventilação natural - efeito chaminé.....	10
Figura 2.4 – Fluxos de ar devido á ação térmica	10
Figura 2.5 – Distribuição global de pressões resultante da combinação de efeitos.....	11
Figura 2.6 – Esquema de ventilação por extração mecânica	12
Figura 2.7– Grelha de insuflação	13
Figura 2.8 – Unidade de ventilação doméstica	13
Figura 2.9 – Exemplo de ventilação com recuperador de calor.....	14
Figura 2.10 – Princípio geral de funcionamento de um sistema de ventilação híbrido [10]	14
Figura 2.11 – Fatores que afetam a qualidade do ar no interior dos edifícios.....	17
Figura 2.12 – Propriedades dos gases traçadores mais utilizados	22
Figura 2.13 – Qualidades dos gases traçadores mais comuns	22
Figura 2.14 – Esquema do ensaio do gás traçador – técnica do declive	23
Figura 2.15 – Relação da atividade física com a taxa de geração de CO ₂ e produção de O ₂	25
Figura 3.1 – Vista parcial do edifício em estudo	27
Figura 3.2 – Localização Geográfica da Moradia	28
Figura 3.3 – Planta do rés-do-chão.....	29
Figura 3.4 – Planta do desvão da cobertura	29
Figura 3.5 – Exemplo folha de registo	31
Figura 3.6 – Medidores de CO ₂ : a) Telaire ligado a «data logger Hobo»; b) «Chauvin Armoux» 1510.....	32
Figura 3.7 – Posição dos equipamentos: a) na sala; b) no quarto	32
Figura 3.8 – Analisador de gás fotoacustico Innova ref ^a 1312	33
Figura 3.9 – Montagem do ensaio: a) na sala; b) no quarto	33
Figura 3.10 – Posição dos equipamentos: a) no quarto; b) na sala	34
Figura 3.11 – Equipamento de medição do ambiente exterior	36
Figura 3.12 – Software «Heavy Weather»	37
Figura 3.13 – Planta com a posição da colocação do equipamento de medição do ambiente exterior	37
Figura 3.14 – Esquema da instalação da estação meteorológica	38
Figura 4.1 – Evolução cronológica da temperatura exterior	39

Figura 4.2 – Evolução cronológica da humidade relativa exterior	40
Figura 4.3 – Gráfico radar da frequência da direção do vento	41
Figura 4.4 – Evolução cronológica da velocidade do vento ao nível da sala	43
Figura 4.5 – Evolução cronológica da temperatura interior na sala.....	45
Figura 4.6 – Evolução cronológica da humidade interior na sala	48
Figura 4.7 – Evolução cronológica da humidade interior no quarto.....	49
Figura 4.8 – Evolução cronológica das concentrações de CO ₂ no quarto – Logger nº1	50
Figura 4.9– Evolução cronológica das concentrações de CO ₂ no quarto – Logger nº2.....	50
Figura 4.10 – Evolução cronológica das concentrações de CO ₂ na sala – Logger nº1	51
Figura 4.11 – Evolução cronológica das concentrações de CO ₂ na sala – Logger nº2	51
Figura 4.12 – Taxas médias Rph com o ensaio de CO ₂ nas duas divisões	53
Figura 4.13 – Caudais médios do ensaio com CO ₂ nas duas divisões	53
Figura 4.14 – Taxas médias Rph com o ensaio de SF ₆ nas duas divisões.....	55
Figura 4.15 – Caudais médios do ensaio com SF ₆ nas duas divisões	55
Figura 4.16 – Exemplo da ficha de ensaio.....	56
Figura 4.17 – Resumo de ensaios - Quarto PF	57
Figura 4.18 – Resumo de ensaios - Quarto PA	57
Figura 4.19 – Resumo de ensaios - Sala PF	58
Figura 4.20 – Resumo de ensaios - Sala PA	58
Figura 5.1 – Comparação das taxas de Rph médias pelos dois métodos na sala e com portas fechadas	59
Figura 5.2 – Comparação das taxas Rph médias nos dois métodos na divisão da sala com portas abertas.....	60
Figura 5.3 – Comparação das taxas RPH médias nos dois métodos na divisão do quarto com portas fechadas.....	62
Figura 5.4 – Comparação das taxas RPH médias nos dois métodos na divisão do quarto com portas abertas.....	63
Figura 5.5 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – quarto com porta fechada.....	64
Figura 5.6 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – sala com porta fechada.....	65
Figura 5.7 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – quarto com porta aberta.....	65
Figura 5.8 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – sala com porta aberta.....	66
Figura 5.9 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do SF ₆ e na sala com portas abertas.....	67
Figura 5.10 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do CO ₂ na sala com portas abertas.....	67

Figura 5.11 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do SF ₆ na sala com portas fechadas.....	68
Figura 5.12 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do CO ₂ na sala com portas fechadas.....	68
Figura 5.13 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – quarto com porta fechada.....	69
Figura 5.14 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – sala com portas fechadas.....	70
Figura 5.15 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – quarto com porta aberta.....	70
Figura 5.16 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – sala com portas abertas.....	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Quadro resumo das vantagens e desvantagens dos sistemas de ventilação	7
Quadro 2.2 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios	18
Quadro 3.1 – Características dos casos de estudo	29
Quadro 3.2 – Características dos equipamentos utilizados	30
Quadro 3.3 – Número de ensaios com CO ₂ realizados para cada compartimento e por variante	35
Quadro 3.4 – Número de ensaios com SF ₆ realizados para cada compartimento e por variante	35
Quadro 4.1 – Temperatura exterior	39
Quadro 4.2 – Humidade Relativa Exterior	40
Quadro 4.3 – Direção do vento	41
Quadro 4.4 – Velocidade do vento	42
Quadro 4.5 – Temperaturas interiores nas divisões em estudo	44
Quadro 4.6 – Humidade relativa interior nas divisões em estudo	47
Quadro 4.7 – Taxa RPH CO ₂	52
Quadro 4.8 – Taxa RPH SF ₆	54
Quadro 5.1 – Sala com portas fechadas	59
Quadro 5.2 – Sala com portas abertas	60
Quadro 5.3 – Sala com portas abertas	61
Quadro 5.4 – Sala com portas abertas	62

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

C_6F_6 – Perfluorbenzeno

C_7F_8 – Perfluorometilbenzeno

C_{ext} – Concentração exterior do gás [ppm]

C_{in} – Concentração inicial do gás traçador [ppm]

CO_2 – Dióxido de carbono

DL – Decreto-Lei

G – Produção interna do gás [cm^3/s]

HR – Humidade relativa [%]

Hum. – Humidade

$\ln(c)$ – Logaritmo neperiano da concentração

N_2O – Óxido nítrico

PA – Porta aberta

PF – Porta fechada

Q – Caudal de ventilação [m^3/s]

R^2 – Coeficiente de determinação

RPH – Renovação horária [h^{-1}]

SF_6 – Hexafluoreto de enxofre

Temp. – Temperatura

t – tempo [s]

V – Volume efetivo do espaço [m^3]

VAV – Volume de ar variável

VMC – Ventilação mecânica controlada

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO

Numa era pautada pelo acelerado desenvolvimento tecnológico, pela rapidez de execução, pela facilidade em construir edifícios com quase todo o tipo de materiais, por uma agressiva competitividade no sector empresarial e pelo aumento dos critérios de qualidade, cada vez mais exigentes, deverá existir sempre uma crescente preocupação com a qualidade do ar interior nos edifícios de forma a garantir aos seus ocupantes níveis de saúde e de conforto higrotérmico adequados.

Efetivamente, o tempo que as pessoas permanecem no interior dos edifícios, particularmente dentro das habitações é bastante significativo comparativamente ao tempo que é despendido no ambiente exterior. Estima-se que a maioria das pessoas ocupa quase 90% do seu tempo em ambientes fechados, sendo a restante percentagem de pouco mais de 10% ao ar livre. As redes sociais fixam as pessoas em casa. Há cada vez mais meios audiovisuais, informáticos, jogos e canais televisivos, há também um número maior de empresas que contratam as pessoas para trabalhar em casa. Tudo contribui para o maior sedentarismo das pessoas. Por conseguinte, é fundamental haver uma preocupação crescente com a qualidade do ambiente interior.

Assim sendo, é de máxima importância serem efetuadas avaliações da qualidade do ar interior dos edifícios de modo a que a saúde dos seus ocupantes não seja colocada em risco.

Hoje em dia, com a utilização de caixilharias de melhor qualidade, ou seja, mais estanques ou com menor permeabilidade ao ar, com o uso mais acentuado de materiais sintéticos (janelas e portas em PVC ou alumínio) e também com o uso de caixas de ar e outras isolações, as construções tornaram-se caixas herméticas sem um mínimo de circulação de ar, verificando-se na maioria dos edifícios uma diminuição significativa das renovações horárias do ar.

Pelo exposto em cima, ressalva-se a necessidade constante de atender nos projetos futuros a este tipo de preocupação acrescida.

Atendendo à preocupação crescente em matéria de eficiência energética dos edifícios, justifica-se maior atenção nas questões associadas à ventilação, uma vez que este tema está intrinsecamente associado ao comportamento higrotérmico dos edifícios.

Os edifícios têm um imenso potencial no que concerne á redução do consumo energético. A nível europeu, foi estabelecida uma meta a ser cumprida no ano de 2020 que consiste numa percentagem de 20% de poupança energética. Uma forma de catalisar o desenvolvimento desta meta poderá ser conseguida através da otimização dos processos de renovação do ar no interior dos edifícios. Monitorizar e otimizar os consumos são duas oportunidades para alcançar poupanças energéticas [1].

Por essa razão, a avaliação experimental do caudal de ventilação torna-se um ponto chave a ser tratado e discutido, no sentido de beneficiar a qualidade do ar interior dos edifícios e consequentemente uma melhoria nas condições de vida das populações.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Em função do exposto previamente, a presente dissertação tem como objetivo a avaliação das taxas de renovação horária e dos caudais de ventilação numa habitação em condições de serviço, relacionando estas variáveis com os parâmetros físicos medidos nos ensaios ao longo de tempo.

Para tal, serão utilizados dois métodos distintos, sendo eles o método dos gases traçadores e as medições em contínuo do dióxido de carbono (CO₂). Os ensaios baseiam-se em medições efetuadas em períodos distintos, diferentes divisões da habitação, e variação das condições de fronteira de ventilação para cada caso. Além disso, serão necessárias medições de temperaturas, humidade relativa, velocidade e direção do vento para melhor correlacionar as variáveis pretendidas com as condições do meio ambiente.

Relativamente às condições fronteira, será elaborado um plano de ensaios com alternância de portas abertas e portas fechadas. A abertura voluntária de portas e janelas pelos ocupantes é uma condição fronteira que se terá em conta na análise deste trabalho, registando todas as aberturas parciais ou totais das mesmas nos casos de estudo.

Posteriormente à recolha de dados das medições, será efetuado o tratamento dos dados registados bem como a análise mais aprofundada dos mesmos através da elaboração de modelos gráficos que permitam traduzir as tendências de ventilação manifestadas nas divisões em estudo com um grau de confiança elevado.

Com base nos resultados obtidos serão propostas medidas de melhoria a implementar para melhoria da qualidade do ar interior e a eficiência energética do edificado, tendo em conta que a qualidade do ar interior de um edifício resulta da interação da sua localização, do sistema de ventilação do edifício, do clima, do número de ocupantes e das fontes de contaminação ou poluentes que se encontram no ambiente interior.

1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O conteúdo textual desta dissertação encontra-se dividido nos seguintes 6 capítulos cuja descrição sumária é:

- Capítulo 1 – Possui carácter introdutório e é neste capítulo onde é feito o enquadramento da presente dissertação, bem como a definição dos objetivos e metodologias utilizadas para os alcançar;
- Capítulo 2 – Neste capítulo é feito o enquadramento da ventilação em edifícios. Destaca-se a importância da qualidade do ar no interior dos edifícios, referindo os problemas que podem ser causados por uma qualidade do ambiente interior débil, bem como os critérios da qualidade do ar e salientando as exigências de qualidade do ar interior a que devem estar sujeitos os edifícios de habitação. São apresentados os principais poluentes do ar interior e os mecanismos de ventilação, bem como a legislação, normalização e regulamentação portuguesa referentes á ventilação em edifícios habitacionais. São também enumeradas as técnicas existentes de medição de taxas de ventilação.
- Capítulo 3 – Tem carácter experimental, sendo realizada a descrição dos objetivos e das metodologias utilizadas com o intuito de avaliar o caudal de ventilação. Relativamente aos ensaios efetuados, é feita uma caracterização e descrição das condições fronteira e sua alternância: portas abertas/fechadas e janelas abertas/fechadas, sendo também enunciado o equipamento utilizado;
- Capítulos 4 – Apresentam-se os resultados das avaliações experimentais efetuadas, recorrendo à elaboração de gráficos que permitam obter interpretações válidas e sustentadas nos vários métodos com o fim de poder concluir sobre o caudal de ventilação e verificar a eficácia do sistema de ventilação;
- Capítulo 5 – Neste capítulo é feita uma discussão, na qual os resultados obtidos das taxas de ventilação pelos dois métodos são comparados e correlacionados com as variáveis físicas medidas;
- Capítulo 6 – Resume as conclusões principais deste estudo e são fornecidas alternativas e propostas com o intuito de serem obtidos níveis de eficácia de ventilação superiores aos verificados experimentalmente.

2

VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

2.1 PROCESSOS OU MECANISMOS DE VENTILAÇÃO

2.1.1 CONCEITO DE VENTILAÇÃO

Dá-se o nome de ventilação ao conjunto de processos que promovem os fluxos de ar entre o interior e o exterior de um edifício de forma controlada (do latim «*ventilare*»: expor-se ao vento) [2]. Por outras palavras, é o processo que substitui o ar «poluído» num espaço por um ar «limpo» ou renovado.

Pode-se destacar 3 tipos distintos de ventilação:

- Ventilação natural,
- Ventilação mecânica,
- Ventilação mista ou híbrida.

Por outro lado, a infiltração é o processo não controlado no qual o fluxo de ar exterior para o interior do edifício se dá através de fissuras nas paredes, de juntas de elementos opacos e de aberturas por cima e por debaixo de portas e janelas. A infiltração de ar através destes pontos débeis da envolvente ocorre de forma inevitável, dependendo sobretudo da permeabilidade dos elementos envolvidos. As infiltrações são, portanto, o resultado da existência de frinchas, fora do controlo direto dos utilizadores.

O problema das infiltrações de ar involuntárias é especialmente grave em climas com temperaturas extremas, onde o gasto energético com climatização pode ser muito elevado. Por outro lado, em climas temperados, como o Português, existe um debate sobre a conveniência da construção de edifícios mais estanques ao ar ou não. A necessidade de climatização é inferior e, por essa razão, existe a perceção que a falta de controlo sobre a ventilação pode não ser um problema tão importante. Por outro lado, poderá ser aconselhável a disposição de mecanismos de abertura e fecho das grelhas de admissão de ar que permitam a oclusão total ou parcial durante o período de Inverno de forma a garantir a eficiência energética.

Na figura 2.1 esquematiza-se o desenvolvimento dos sistemas de ventilação e no quadro 2.1 apresenta-se as respetivas vantagens e desvantagens.

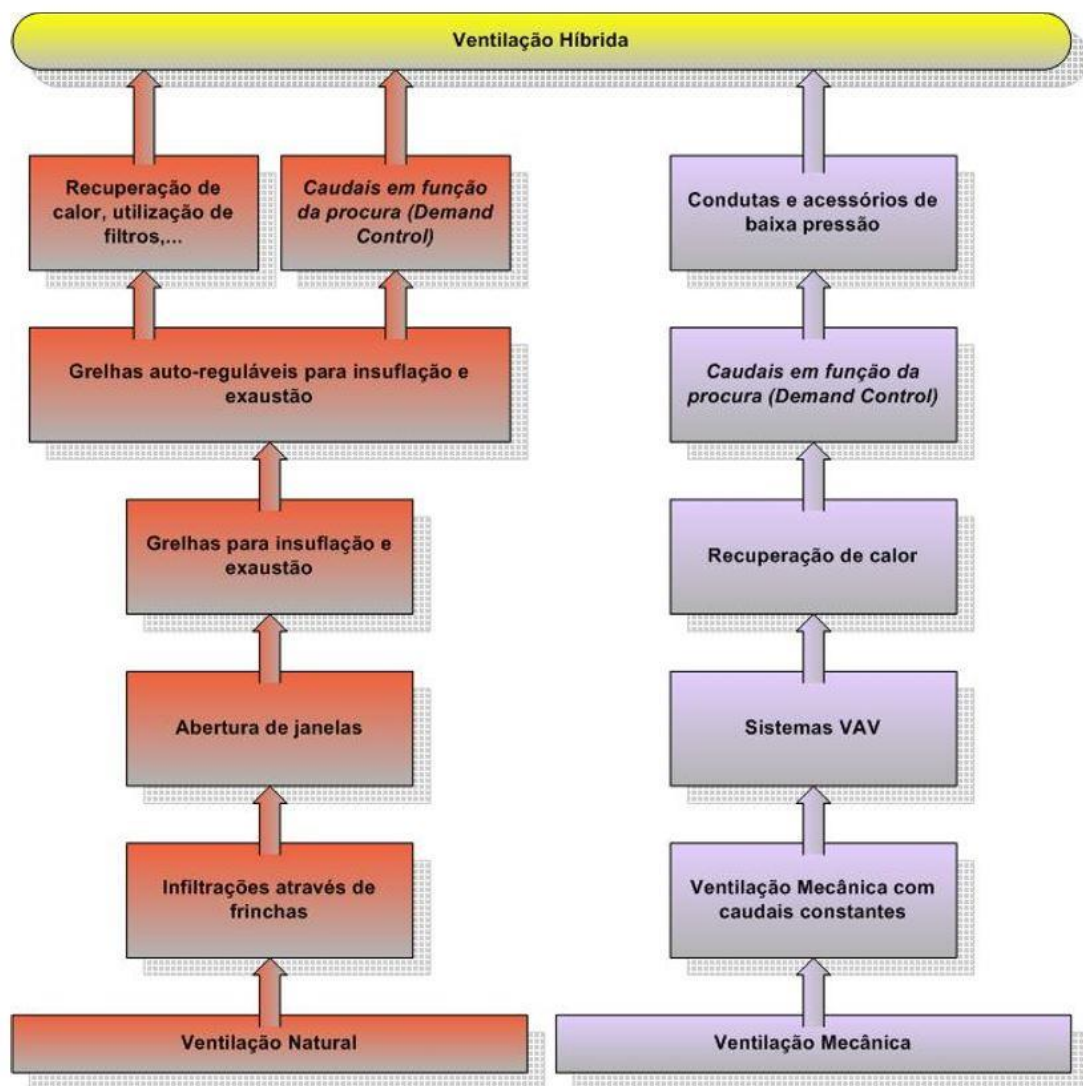


Figura 2.1 – Desenvolvimento dos sistemas de ventilação. [3].

Quadro 2.1 – Quadro resumo das vantagens e desvantagens dos sistemas de ventilação [4].

Sistemas	Vantagens	Desvantagens
Ventilação Natural	<p>Sem consumo de energia para o seu funcionamento</p> <p>Baixo custo do sistema (instalação, operação e manutenção)</p> <p>Sem ruído emitido pelo funcionamento do sistema</p>	<p>Caudais e padrão do escoamento variáveis, podendo haver fases em que é necessário incrementar a ventilação por atuação nos dispositivos de ventilação ou abertura das janelas</p> <p>Possibilidade de inversão de fluxo em condutas na presença de gradientes térmicos com temperatura exterior superior á interior ($T_{int.} < T_{ext.}$)</p>
Ventilação Mecânica	<p>Permite assegurar em contínuo as taxas de ventilação pretendidas</p> <p>Maior eficiência na extração de poluentes na fonte (ex.: produção de humidade nas instalações sanitárias)</p> <p>Reduzido espaço ocupado por condutas</p>	<p>Custo do sistema</p> <p>Consumo de energia</p> <p>Nível de ruído (só nos casos de implementação deficiente)</p> <p>Custo de manutenção</p> <p>Quando desligado, a ventilação fica reduzida a valores excessivamente baixos</p> <p>Possibilidade de desconforto devido a correntes de ar (só se for mal implementado)</p> <p>Possibilidade de perturbações na saúde dos ocupantes por falta de manutenção</p>
Ventilação Híbrida	<p>Menor consumo de energia que o sistema VMV</p> <p>No caso de funcionamento intermitente, maiores de ventilação somente quando são necessárias</p>	<p>Custo do sistema (menor que no sistema VMC)</p> <p>Consumo de energia (menor que no sistema VMC)</p> <p>Nível ruído (maior que no sistema VMC)</p> <p>Custo de manutenção</p> <p>Espaço ocupado por condutas</p> <p>Correntemente funcionam intermitentemente</p> <p>Possibilidade de inversão de fluxo na instalação sanitária/caldeira em caso de uso de ventilação natural nesta</p> <p>Possibilidade de perturbações na saúde dos ocupantes por falta de manutenção</p>

2.1.2 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é o fenómeno da movimentação do ar externo para o interior das edificações, circulando maioritariamente através de janelas e portas, sem recurso a qualquer sistema ou dispositivo mecânico, isto é, de forma natural. É o processo mais antigo de fornecer ar fresco a um espaço interior de modo a remover poluentes e odores através da circulação de ar.

Neste contexto, a ventilação natural pode assumir um papel importante no controlo dos níveis de poluição no interior dos edifícios contribuindo para um melhor conforto higrotérmico, para a saúde e para a higiene humana.

Desta forma, a ventilação natural de edifícios constitui uma forma eficaz para se obter um ambiente interior mais saudável, contribuindo para a otimização do conforto ambiental e da qualidade do ar interior das habitações. Este tipo de ventilação depende integralmente das ações que promovem a diferença pressões entre o exterior e o interior e do gradiente térmico manifestado.

Existem duas principais forças motrizes da ventilação natural: o efeito do vento e o efeito de chaminé, as quais podem existir em simultâneo.

Devido às constantes mudanças destas forças motrizes torna-se complicado avaliar com precisão e controlar os fluxos de ar dentro das habitações. Dependem, por exemplo, do clima exterior e da existência de aberturas na envolvente do edifício, que podem imprevisivelmente atuar como pontos de entrada e saída de ar, pelo que não existe controlo sobre as ações que promovem a ventilação natural.

A ventilação dos espaços acontece então por consequência de dois processos espontâneos, nos quais o movimento do ar resulta do seu impulso natural para manter o equilíbrio entre temperatura e pressão [5].

No clima mediterrânico que caracteriza Portugal, a ventilação natural conjugada com uma adequada inércia térmica possibilita que nos espaços interiores, sejam minimizados os ganhos excessivos e os extremos de calor.

Desta forma, a ventilação natural ajuda a regular a temperatura interna das habitações e melhora a qualidade do ar, reduzindo a presença de gases tóxicos e diminuindo os riscos de alergias e problemas respiratórios.

2.1.2.1 VENTILAÇÃO NATURAL PELA AÇÃO DO VENTO

A ação do vento é, habitualmente, a mais influente nos mecanismos de ventilação natural.

A ação do vento na ventilação natural está dependente de dois fatores principais:

- Distribuição de pressões nas fachadas de um edifício, condicionada pela forma ou tipo de edifício e pela sua orientação em relação à direção do vento;
- Intensidade do vento, que depende do local e da envolvente exterior ao edifício;

O vento, ao incidir num qualquer obstáculo, gera um campo de pressões estáticas, positivas ou negativas, no interior dos edifícios ou compartimentos. Esta distribuição de pressões na envolvente tende a ser não uniforme, com pressões superiores ou inferiores à pressão atmosférica.

O fluxo de ar toma o caminho mais fácil, que é aquele em que a diferença de pressões é mais elevada ou as resistências à sua passagem são menores.

Desta forma, consoante a velocidade e orientação do vento e das próprias fachadas, existem diagramas das envolventes do edifício que procuram traduzir as diferenças de pressões, representados esquematicamente na figura 2.2. Geralmente ocorrem pressões positivas (barlavento) nas fachadas nas quais incide o vento e pressões negativas nas fachadas opostas (sotavento) e nas fachadas laterais [6].

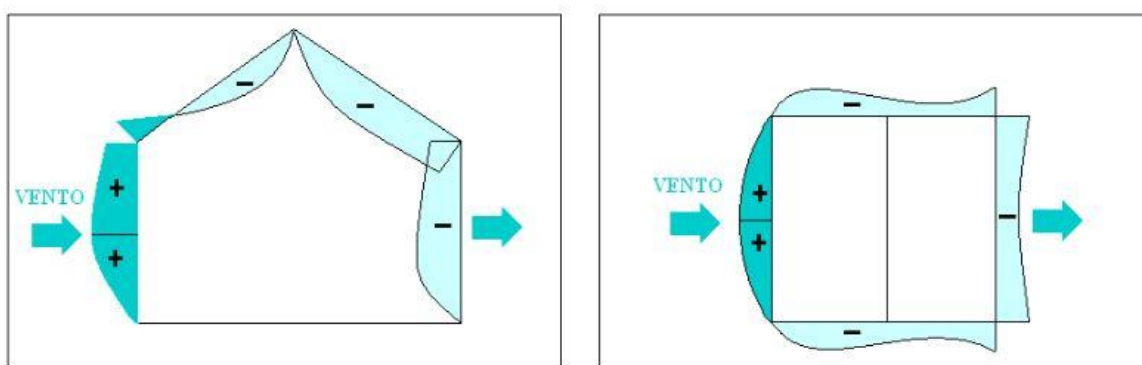


Figura 2.2 – Distribuição de pressões nas fachadas de um edifício de planta retangular (vista em corte vertical e vista em planta) [7].

2.1.2.2 VENTILAÇÃO NATURAL PELA AÇÃO TÉRMICA – EFEITO DE CHAMINÉ

Em 1738, o matemático suíço Bernoulli observou que quando o ar se move, ocorre uma diminuição da sua pressão. Concluiu também que quanto mais depressa o ar se move menor será a sua pressão.

O efeito de chaminé consiste no movimento de ascensão do ar aquecido no interior de um edifício em direção à cobertura, devido à diminuição da densidade relativa do ar.

Tem na sua origem a diferença de temperatura e, por conseguinte, da densidade entre o ar exterior e o ar do interior da habitação.

Este efeito acontece pelo princípio físico da gravidade, uma vez que o ar menos denso e quente tende a ascender rumo ao piso mais alto, provocando uma menor pressão nas cotas mais baixas da edificação, e assim possibilitando que o ar do ambiente exterior migre para o interior da edificação através das correntes de ar.

Quando não há vento, o único responsável pela renovação do ar dos edifícios não dotados de sistemas mecânicos de ventilação é o efeito de chaminé (figura 2.3).

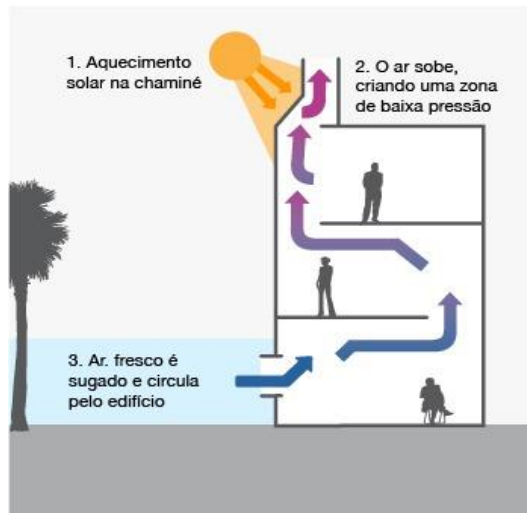


Figura 2.3 – Ventilação natural - efeito de chaminé [8]

O efeito chaminé é considerado, simultaneamente um dos processos mais úteis e problemáticos no projeto de um edifício. Este efeito é proporcional ao diferencial de temperatura entre o interior e o exterior e à distância entre as aberturas de ar existentes.

Quando a temperatura interna é maior que a temperatura externa, o ar exterior, mais frio, entra na edificação através das aberturas mais baixas, sendo que o ar interno, mais quente, sai pelas aberturas mais elevadas, situação esta mais típica no Inverno. Um fluxo inverso ocorre quando a temperatura interna do ar é inferior à temperatura externa, tal como está demonstrado na figura 2.4, ilustrando a situação que ocorre maioritariamente no Verão. Quanto maior for a diferença verificada entre as temperaturas, mais forte é o efeito de chaminé.

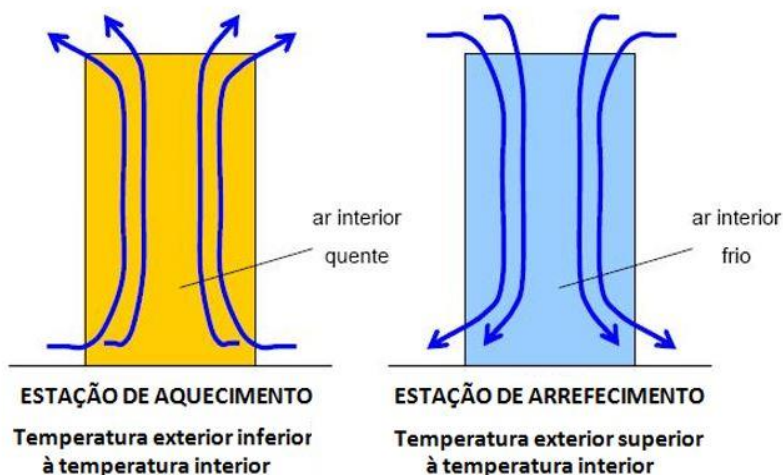


Figura 2.4 – Fluxos de ar devido à ação térmica [7].

2.1.2.3 VENTILAÇÃO NATURAL POR COMBINAÇÃO DE EFEITOS

Na prática, os efeitos de ventilação natural, por ação do vento e pelo efeito de chaminé, ocorrem em simultâneo. Assim, o efeito combinado do gradiente térmico e do vento determina o comportamento dos caudais de ventilação através das aberturas dos edifícios [9].

Pode existir um efeito positivo de soma, aumentando o caudal de ventilação, quando os efeitos possuem uma ação conjunta no mesmo sentido ou um efeito negativo que se traduz pelo efeito oposto através das aberturas quando as ações possuem sentidos contrários, promovendo a diminuição do caudal de ventilação. Quando as pressões de cada um dos mecanismos se anulam poderá levar a uma eventual anulação do caudal de ventilação.

A distribuição de pressões que atuam na envolvente de um edifício poderá traduzir-se pela figura 2.5.

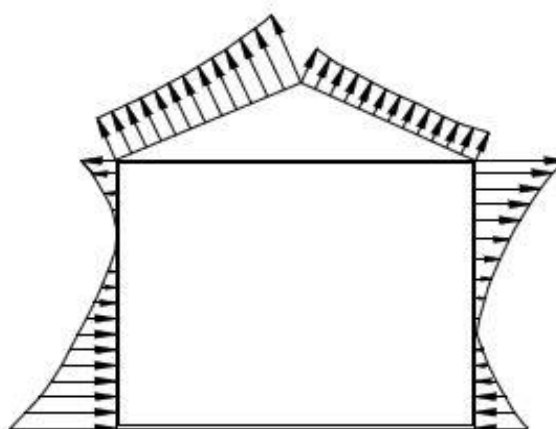


Figura 2.5 – Distribuição global de pressões resultante da combinação de efeitos [10].

A distribuição de pressões na envolvente é muito complexa e de natureza dinâmica visto que o vento varia continuamente. A ação que provoca o gradiente térmico é mais notória no período do Inverno, sendo que no resto do ano a ação primordial a considerar será a do vento.

2.1.3 VENTILAÇÃO MECÂNICA

Em edifícios com isolamento térmico eficiente e com estanquidade elevada, a instalação de um sistema de ventilação mecânica poderá ser indispensável. Se um edifício não ventila por si mesmo é necessário existir um sistema que garanta a qualidade do ar interior.

Neste tipo de ventilação, além da desvantagem da emissão de ruído e exigência de manutenção comparativamente à ventilação natural, existe também a necessidade de um consumo contínuo de energia que serve de base ao funcionamento dos equipamentos de ventilação mecânica designados por ventiladores.

No entanto, a ventilação mecânica pode ajudar a superar as deficiências que ocorrem de ventilação natural, sendo um processo passível de controlo e regulação humana e mais adequado para edifícios em altura. A ventilação mecânica das habitações pode oferecer a vantagem não só de garantir a renovação do ar interior, mas também a filtração do ar externo reduzindo os níveis de pólen, de poluentes e de odores externos, bem como a regulação da humidade do ar.

Relativamente a este tipo de ventilação, pode ser feita através de uma estratégia de:

- Insuflação mecânica;
- Extração mecânica;
- Sistema balanceado.

2.1.3.1 EXTRAÇÃO MECÂNICA

A ventilação mecânica por extração é traduzida pela exaustão de ar a partir dos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias) através de ventiladores, onde se criam pressões negativas, possibilitando a admissão de ar fresco através de elementos permeáveis ou pelas aberturas da envolvente dos compartimentos principais (quartos e salas), tal como representa a figura 2.6.

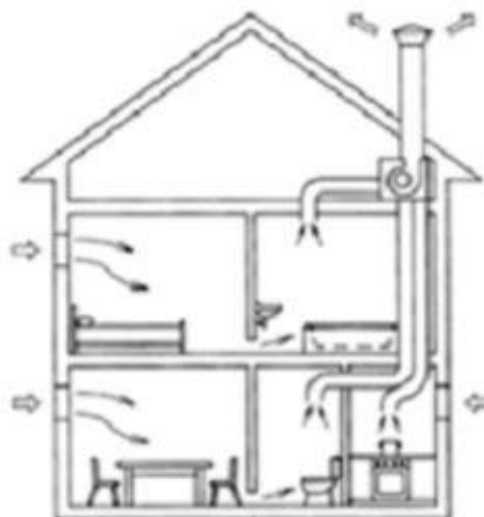


Figura 2.6 – Esquema de ventilação por extração mecânica [11]

2.1.3.2 INSUFLAÇÃO MECÂNICA

Neste tipo de ventilação mecânica por insuflação o sistema de funcionamento é oposto ao sistema de ventilação mecânica por extração. O ar é admitido através das grelhas dos ventiladores de insuflação (figura 2.7) e entra para os compartimentos, provocando a pressurização da habitação, sendo a pressão criada positiva e o ar extraído através das aberturas da envolvente.



Figura 2.7– Grelha regulável [12]

2.1.3.3 SISTEMA BALANCEADO

Neste sistema combina-se a insuflação e a extração mecânicas, controladas de forma a manter o edifício em ligeira depressão, insuflando cerca de 90 a 95% do caudal extraído. Este modo de ventilação mecânica permite a utilização de um sistema de recuperação de calor em que o ar extraído é utilizado para pré-aquecer o ar insuflado através de permutadores [13].

O sistema de ventilação mecânica de duplo fluxo (figuras 2.8 e 2.9) é o sistema mais evoluído atualmente pois permite ventilar todos os espaços da habitação em simultâneo com elevada eficiência energética e com boa qualidade de filtragem do ar. Permite manter o nível de climatização do ar por ação do recuperador de calor integrado garantindo o conforto interior. Estima-se que a possibilidade em recuperar cerca de 95% do calor. Para situações de necessidade de arrefecimento do ar (durante as noites de Verão) é possível fazer «by-pass» automático ao recuperador [14].

A crescente tendência para uma maior estancidade das habitações resultante da pressão da eficiência energética e a dificuldade em garantir a qualidade do ar através da ventilação natural poderá levar a uma maior procura deste tipo de soluções.



Figura 2.8 – Unidade de ventilação doméstica [14].

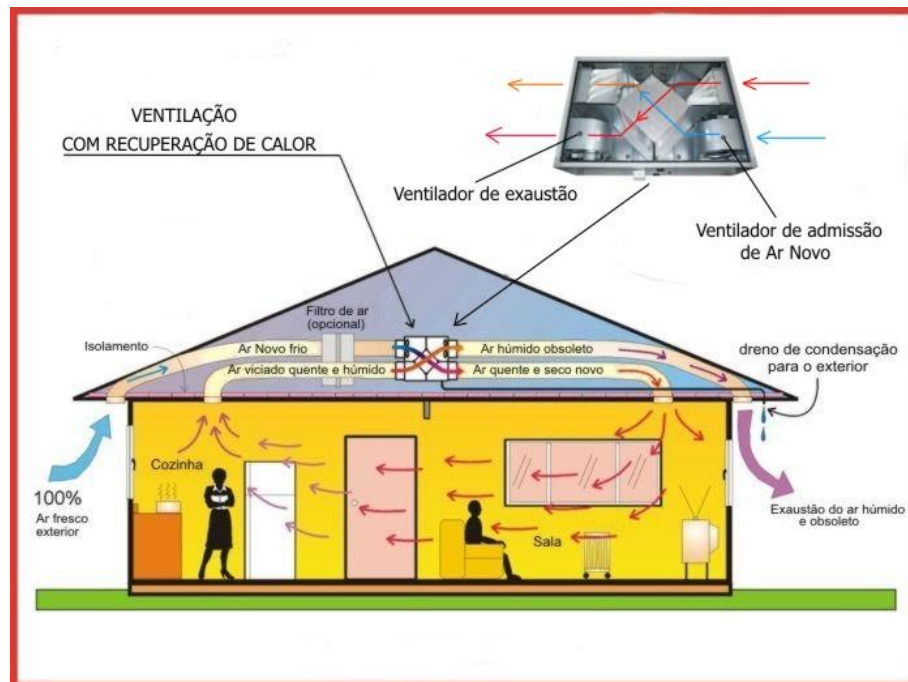


Figura 2.9 – Exemplo de ventilação com recuperador de calor [15].

2.1.4. VENTILAÇÃO HÍBRIDA

A ventilação híbrida consiste na combinação das propriedades dos sistemas de ventilação natural mais a ventilação forçada de forma a que o consumo energético seja minimizado (figura 2.10).

Nos edifícios de habitação, deve existir de forma permanente a entrada de ar pelas divisões principais, o que permite conjugar uma ventilação natural com uma ventilação forçada ou mecânica.

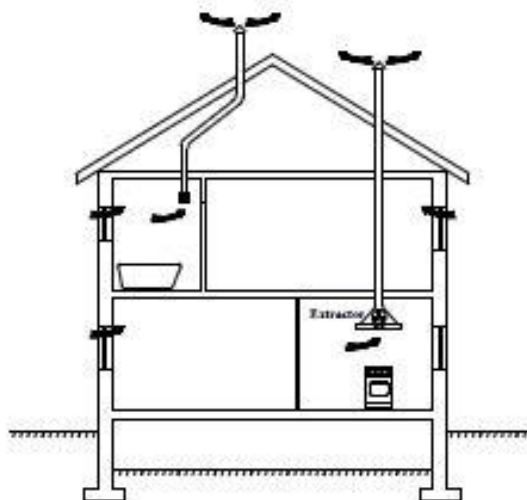


Figura 2.10 – Princípio geral de funcionamento de um sistema de ventilação híbrido [10]

2.2 OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA DE UMA VENTILAÇÃO EFICAZ

Durante a estação de arrefecimento, uma das formas mais eficazes de diminuir a temperatura no interior dos edifícios passa por ventilar, especialmente durante a noite, quando as temperaturas são menores. Existem duas maneiras da ventilação proporcionar conforto, através da velocidade do ar, proporcionando uma sensação de arrefecimento aos ocupantes, ou através da ventilação noturna, na qual se reduz a massa térmica do edifício arrefecendo o ambiente para os períodos de ocupação.

Nos edifícios de habitação, uma ventilação eficaz é crucial para providenciar uma melhoria na qualidade do ar interior e contribuir para um ambiente saudável. Quando os níveis de ventilação natural, ventilação mecânica e infiltrações são baixos, a taxa de ventilação também será baixa, o que leva os níveis de poluentes a disparar.

A ventilação eficaz assegura que o ar interior é limpo e saudável através da filtragem de partículas nocivas à saúde humana e da remoção das impurezas que esse ar contém. Além disso, uma ventilação eficaz é a pedra angular de um edifício seguro, saudável e com baixos custos de energia, o que se traduz num edifício energeticamente mais eficiente.

No entanto, a ventilação pode originar, no período do Inverno, uma perda significativa, de cerca de 50% do consumo energético total. Esta situação condiciona de forma contraditória os sistemas de ventilação dos edifícios. Do ponto de vista da qualidade do ar interior, esta diminui se as infiltrações decaírem, mas do ponto de vista energético, uma maior estanquidade ao ar é sempre mais conveniente num edifício.

Por esta razão, foi estabelecida pelo DL N°118-2013 um valor mínimo geral e permanente de renovação horária por hora, sendo que qualquer edifício novo deverá possuir uma taxa de ventilação mínima de 0,4 rph.

Verifica-se em muitos projetos de habitações, que a questão da ventilação é pouco cuidada e normalmente desprezada face a outras especialidades, talvez por carência legislativa ou falta de sensibilidade para este tema.

A falta de qualidade do ar interior provoca mau estar, vários tipos de doenças e contribui para a chamada «Síndrome do Edifício Doente».

Na prática, torna-se mais eficaz e económico prevenir os problemas de qualidade do ar interior, do que mais tarde ter de resolvê-los, através da alteração dos hábitos dos ocupantes, ajustamento das taxas de ventilação dos compartimentos interiores ou da alteração dos tipos de materiais utilizados na decoração e limpeza.

2.3 DEFICIÊNCIAS MANIFESTADAS NOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Hoje em dia, as casas são mais energeticamente eficientes com o aumento dos isolamentos, com a utilização de materiais novos e portas e janelas mais eficientes (PVC ou alumínio). Como resultado os edifícios não respiram tão facilmente, conferindo à edificação uma taxa de renovação horária baixa. Existem deficiências de ventilação que se devem sobretudo a alterações na prática construtiva e alterações comportamentais humanas.

Relativamente à prática construtiva, a crise do petróleo de 1973 acentuou a necessidade de promover a conservação de energia, pelo que na construção das edificações foram desenvolvidas ações no sentido de reduzir a permeabilidade ao ar da envolvente, não compensada pela admissão de ar novo.

Outro aspeto a assinalar é a existência de lareiras abertas para o interior, que poderão por deficiente ventilação da chaminé, fazer com que os gases de combustão permaneçam em parte no interior da habitação, contribuindo para a degradação da qualidade do ambiente interior, podendo até contribuir para uma fatalidade. É de conveniência utilizar lareiras devidamente certificadas com sistema de ventilação eficiente e sem contacto direto da câmara de combustão com o interior do edifício.

Outros problemas devido a deficiências de ventilação são o aumento da frequência de condensações, conduzindo ao aparecimento de fungos ou bolores, o que contribui para o aumento dos níveis de poluentes do ambiente interior e deficiências de funcionamento nos aparelhos a gás.

2.4 QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

2.4.1 ENQUADRAMENTO

De cada dia que passa, o ser humano respira 23.000 vezes e inala cerca de 15 metros cúbicos de ar. Com o passar dos anos, o ar que respiramos vai-se tornando cada vez mais tóxico, devido à poluição [16].

No entanto, o ar presente em ambientes fechados pode ser 10-70 vezes mais prejudicial à saúde humana que o ar exterior, se não existirem certos cuidados de limpeza e ventilação.

Um fator facilitador da transmissão de vírus é o agrupamento de pessoas em recintos fechados. Em ambientes fechados, os micro-organismos beneficiando da existência de restos de alimentos, animais domésticos, pele humana, carpetes, tapetes, tecidos, matéria orgânica e de humidade procuram desenvolver-se, alimentando-se e reproduzindo-se.

O ambiente fechado torna-se perfeito para a replicação de fungos, bactérias e vírus quando a temperatura interior é elevada, a taxa de ventilação muito baixa e a humidade relativa elevada. As bactérias e vírus reproduzem-se na razão de 70 triliões ao dia, enquanto que os fungos se reproduzem com uma taxa de 3,8 triliões ao dia [16].

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que resultam da utilização correntes desses espaços ou que são libertadas pelos materiais que integram os edifícios. Essas substâncias, dependendo da sua concentração e das suas características, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes, que vão desde a sensação de mal-estar, a originar doenças graves ou mesmo a morte, como no caso de intoxicações por monóxido de carbono [17].

A qualidade do ambiente interior dos edifícios é influenciada não só pela taxa de ventilação com que ocorrem as trocas de ar no interior de um edifício, mas também pela sua arquitetura e respetivo funcionamento.

O ar viciado é fortemente prejudicador ao ser humano e ao seu ambiente de habitação, sendo responsável pelo aparecimento de fungos nos pontos mais frios da casa, por doenças respiratórias, entre as quais a asma, doenças cardiovasculares e pelo envelhecimento prematuro. Uma baixa qualidade do ar interior afeta a saúde humana, e pode ser facilmente detetada com os seguintes sintomas: alergias, asma, cancro dos pulmões, infeções respiratórias aéreas, odores, irritações, doença pulmonar obstrutiva crónica, morbilidade e mortalidade cardiovascular.

Além disso, as exposições ao ar interior mais alarmantes incluem: partículas geradas por combustão (lareira), fumo do tabaco, radão, humidade elevada, compostos orgânicos voláteis (COV's), bolores, alérgenos e ácaros presentes no ar ou trazidos por animais de estimação, monóxido de carbono, produtos químicos utilizados no interior, micróbios e fibras dos materiais de construção.

A figura 2.11 demonstra um resumo dos fatores que afetam a qualidade do ar interior.

OS FACTORES QUE AFECTAM A QUALIDADE DO AR NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

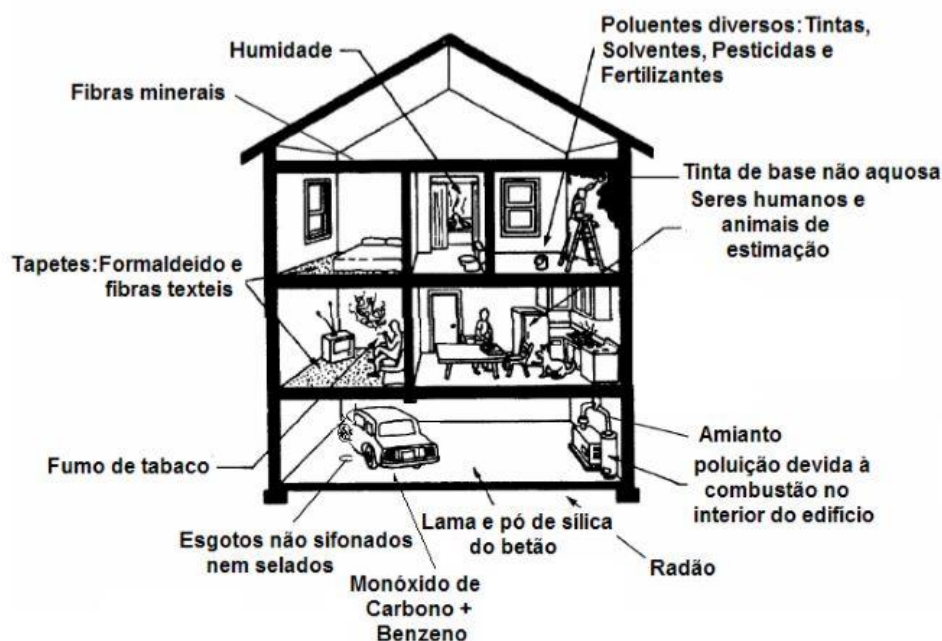


Figura 2.11 – Fatores que afetam a qualidade do ar no interior dos edifícios [18]

2.4.2 POLUENTES E SUBSTÂNCIAS CONTAMINANTES

Hoje em dia, têm-se verificado evoluções constantes nas estratégias de construção dos edifícios, nomeadamente com a introdução de novos materiais e maior isolamento, levando à progressiva diminuição das taxas de renovação do ar, com efeito nas concentrações dos poluentes [4].

A densidade de ocupação no interior dos edifícios aliada à existência de equipamentos e aos materiais de construção estão na origem da taxa elevada de poluentes. Pelo facto das fontes de emissão de poluentes no ambiente interior de um edifício serem muito variadas, é de conveniência subdividi-las em [7]:

- Poluentes libertados pelos aparelhos de combustão (CO_2 , CO, NO_x , H_2O);
- Poluentes libertados pelos materiais de construção e limpeza, perfumes, sprays, eletrodomésticos, etc (formaldeído, VOC, amónia);
- Poluentes libertados pelos ocupantes e pelas atividades domésticas, nomeadamente o CO_2 , H_2O e os bioefluentes humanos.

A concentração máxima dos poluentes do ar interior em edifícios está limitada pela Portaria nº 353-A/2013. A título de exemplo junta-se o quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios [17]

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM_{10})	0,15 mg/m^3
Dióxido de carbono	1800 mg/m^3
Ozono	12,5 mg/m^3
Formaldeído	0,1 mg/m^3
Compostos orgânicos voláteis totais (TCOVs)	0,60 mg/m^3
Microorganismos (bactérias ou fungos)	500 unidades formadoras de colónias
Legionella	100 unidades formadores de colónias
Radão	400 Bg/m^3

2.4.3 EXIGÊNCIAS LEGISLATIVAS E NORMATIVAS

A legislação portuguesa e internacional relacionada com a ventilação de edifícios e adotada como referência para o presente trabalho compreende os seguintes documentos:

- NP 1037-1 – Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás, que possui como objetivo definir regras de projeto nos sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, e quantifica as exigências de ventilação através de caudais-tipo, relacionados com a qualidade do ar interior;
- RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços, aprovado pelo Decreto-Lei N°118/2013;
- REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, aprovado pelo Decreto-Lei N°118/2013;
- Norma ASTM D 6245/2012 – Utilização de dióxido de carbono na determinação da ventilação e qualidade do ar interior;
- Portaria n°353-A/2013, estabelece os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviço novos, bem como os caudais mínimos de ar novo por espaço;
- Norma ASHRAE 62.1-2007, fornece valores de caudais mínimos a adotar em divisões com uso distinto;
- Norma ASTM E741-2000 – Metodo de determinação de taxa de renovação horária em zonas singulares pela diluição de gás traçador;
- Norma ISO 12569 (2012), «*Thermal performance of buildings and materials. Determination of specific airflow rate in buildings – Tracer gas dilution method*», a qual procura descrever todo o procedimento do método do gás traçador para determinar as taxas de renovação horária em edifícios. Este consiste na injeção e monitorização da concentração de um gás ao longo do tempo de ensaio, permitindo a medição da taxa de renovação horária, uma vez que todas as aberturas para o exterior estão seladas. No entanto, é aqui referido que as condições do ambiente exterior, nomeadamente temperatura e velocidade do vento, influenciam os resultados do ensaio.

A norma NP 1037-1 só se aplica a edifícios sem qualquer sistema mecânico, nem sequer um exaustor na cozinha.

A Portaria n°353-A/2013 estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação, sendo a mais utilizada atualmente em Portugal.

Além desta, a norma ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) 62.1-2007 fornece os valores de caudais mínimos que deverão ser cumpridos nas diferentes divisões de uma habitação para condições de serviço. Esta define que a qualidade do ar interior é aceitável quando, de acordo com o fixado por autoridades reconhecidas e quando pelo menos 80% dos ocupantes expostos não manifestaram insatisfação, não existem contaminantes com concentrações prejudiciais à saúde humana [19].

O REH impõe um valor mínimo de cálculo para a estação de arrefecimento de $0,4 \text{ h}^{-1}$ horárias para a taxa de renovação do ar sobretudo devido à questão energética.

A norma ASTM D 6245 (2012) define o procedimento para utilizar o decaimento da concentração de dióxido de carbono na avaliação da taxa de ventilação. O método do gás traçador foi normalizado pela

ISO (*International Organization for Standardization*) 12569 (2012), a qual descreve simultaneamente os procedimentos e equipamentos a utilizar para realizar este tipo de ensaio. Informação idêntica pode ser encontrada na norma ASTM E741-2000.

2.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO

2.5.1 MÉTODO DO GÁS TRAÇADOR

Com a necessidade crescente de se conhecerem os caudais de ar, tanto por razões de qualidade de ar interior como por razões energéticas, notou-se uma crescente utilização dos métodos existentes.

Nesta dissertação para a medição do caudal de ventilação foram realizados ensaios experimentais utilizando um dos principais métodos na determinação da taxa de ventilação, o método dos gases traçadores, o qual possibilita a determinação dos caudais de ar entre as zonas de um determinado edifício e entre este e o exterior, sendo considerado por muitos de aplicação bastante versátil.

Este método consiste na introdução de um gás que habitualmente não se encontra no ar da divisão em estudo, registando-se a evolução temporal da sua concentração.

A determinação dos caudais de ventilação dos compartimentos do edifício em estudo pode ser feita recorrendo a várias técnicas, que correspondem a procedimentos distintos, apesar de todos medirem a concentração do gás traçador ao longo do tempo, sendo descritas seguidamente algumas dessas técnicas:

- Técnica do declive ou decaimento, adotada na presente dissertação e aprofundada com maior detalhe seguidamente;
- Técnica da emissão pulsada (ou pulso);
- Técnica da emissão constante com emissão e recolha passiva (PFT);
- Técnica da concentração constante;
- Técnica da fonte (ou concentração crescente).

Como base deste método está a lei da conservação da massa do ar e do gás traçador. A variação temporal da concentração de um gás numa determinada zona depende apenas da sua concentração do ar admitido e no ar extraído e também da produção interna desse mesmo gás. Desta forma, é representado pela equação da continuidade – equação (2.1) – o fenómeno inerente à técnica do declive, a qual é utilizada neste trabalho.

$$V \cdot \frac{dC(t)}{dt} = G + Q \cdot C_{ext.} - Q \cdot C(t) \quad (2.1)$$

V – Volume efetivo do espaço [m³]

C – Concentração do gás [ppm]

t - tempo [s]

G – Produção interna do gás [cm³/s]

Q – Caudal de ventilação [m³/s]

C_{ext.} – Concentração do gás exterior [ppm]

A solução da equação 2.2 pode ser obtida por integração, resultando:

$$V \cdot \frac{dC(t)}{dt} = C_{ext.} + \frac{G}{Q} + (C_{int.} - C_{ext.} - \frac{G}{Q}) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2.2)$$

Em que:

$C_{int.}$ – Concentração inicial do gás no interior

A taxa de renovação do ar rph é o quociente entre o caudal de ventilação do compartimento e o seu volume efetivo, pelo que pode ser obtida pela seguinte expressão 2.3.

$$RPH = \frac{Q}{V} = \frac{\ln(\frac{C_{in.}}{C(t)})}{t} \quad <=> \quad \ln(C(t)) = -RPH \cdot t + \ln(C_{in.}) \quad (2.3)$$

Em que:

RPH – Renovações por hora [h^{-1}]

Desta forma, conclui-se que o rph é o simétrico do declive da reta representada pela equação 1.3.

Na utilização da técnica do declive existe uma enorme variedade de gases que podem ser selecionados como gás traçador, mas idealmente ele deverá possuir o seguinte conjunto de características:

- Deve ser ambientalmente inerte, inodoro e incolor;
- Deve ser facilmente mensurável, incluindo a baixas concentrações;
- Estar de preferência ausente (ou presente em concentrações muito baixas) no ar interior e exterior;
- Não deve ser dispendioso;
- Não deve ser condensável;
- Não deve ser inflamável nem explosivo;
- Deve possuir um valor da massa molar não muito diferente do valor médio do ar ($29g \cdot mol^{-1}$);
- Não deve ser tóxico e não deve apresentar risco para a saúde com os valores de concentração usados.

No entanto, nenhum gás satisfaz todos os requisitos mencionados globalmente. Assim sendo, os gases mais frequentemente usados como gases traçadores são:

- Dióxido de carbono, CO_2
- Hexafluoreto de enxofre, SF_6
- Peróxido de azoto (óxido nitroso), N_2O
- Perfluorbenzeno (PB), C_6F_6
- Perfluoermetilbenzeno (PMB), C_7F_8

Na figura 2.12 estão representadas as propriedades de alguns gases e na figura 2.13 as qualidades dos gases mais frequentemente utilizados.

Nome	Fórmula química	Peso molecular [g/mol]	Densidade / Densidade do ar	Concentração exterior [ppm]	Limite mínimo de detecção [ppm]	Limite de exposição permitido ^(g) [ppm]
Dióxido de carbono ^(a)	CO ₂	44	1,53	360	3 ^(e)	5000
Óxido de azoto ou Protóxido de azoto ^(b)	N ₂ O	44	1,53	0,315	0,05 ^(e)	25-100
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	146	5,1	0,85-1,5x10 ⁻⁶	0,005 ^(e)	1000
Perfluorobenzeno - PB ^(c)	C ₆ F ₆	186	6,4 ^(d)	< 1x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁵ ^(f)	-
Perfluorometilbenzeno - PMB ^(c)	C ₇ F ₈	236	8,1 ^(d)	< 1x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁵ ^(f)	-

Notas:

- a: deve ser usado com especial cuidado devido às fontes normalmente presentes nos locais habitados. A concentração exterior deve ser tida em conta;
- b: o N₂O é produzido pelos aparelhos de combustão normalmente existentes nos edifícios residenciais;
- c: gases usados na técnica da emissão constante passiva (PFT);
- d: nas condições normais (PTN) os gases estão na fase líquida;
- e: com detetor fotoacústico;
- f: com cromatografia gasosa e detetor de captura de eletrões;
- g: concentração máxima média permitida nos locais de trabalho (8 horas de exposição).

Figura 2.12 – Propriedades dos gases traçadores mais utilizados [7] e [20].

Nome	Características do gás							
	Não inflamável nem explosivo	Não tóxico	Densidade próxima do ar	Não é absorvido nem reage	Fácil de analisar	Baixa concentração exterior	Sem fontes no espaço a medir	Não dispendioso
Dióxido de carbono	++	-	+	-	++	--	--	++
Óxido nítrico ou Protóxido de azoto	(a)	-	+	-	+	+	+	++
Hexafluoreto de enxofre	(b)	+	-	+	++	++	++	+
Perfluorocarbonos (PFTs)	++	++	--	++	+	++	++	++

Notas:

- Nível de qualidade: ++ Muito bom; + Bom; - Não tão bom; -- Muito mau;
- a: Não é combustível, mas é um bom oxidante a altas concentrações e temperatura;
- b: Não é combustível, mas decompõe-se em chama produzindo químicos tóxicos.

Figura 2.13 – Qualidades dos gases traçadores mais comuns [7].

O gás traçador mais utilizado é o hexafluoreto de enxofre (SF_6). A *American Society of Testing Materials International* (ASTM), desenvolveu a especificação E741-00, também designado por «*Standard Test Method for Determining Air Exchanges in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*», a qual procura demonstrar a determinação da taxa de ventilação num edifício através da técnica de diluição do gás traçador.

Neste trabalho o gás traçador utilizado foi o hexafluoreto de enxofre (SF_6), cujas propriedades estão representadas pelo quadro 2.3.

Na campanha experimental, foi utilizado a técnica do declive, sendo a mais utilizada por ser a mais fácil de implementar. Por detrás desta escolha, reside o facto da técnica do declive ou decaimento apresentar vantagens relativamente aos outros métodos, sendo elas o menor tempo de medição e a menor complexidade envolvida nos equipamentos utilizados.

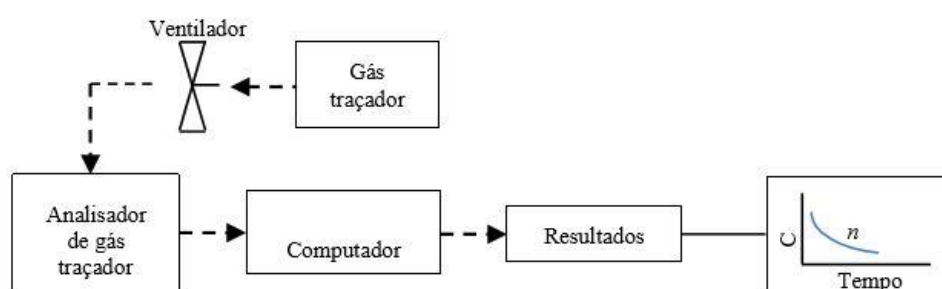


Figura 2.14 – Esquema do ensaio do gás traçador – técnica do declive.

Deve-se começar por injetar o gás traçador no espaço em estudo, até este atingir uma concentração uniforme, registando-se a sua concentração ao longo do tempo. Para a correta mistura do gás no ambiente, recorre-se à utilização de ventiladores que possibilitam a homogeneização do ar interior. Seguidamente regista-se a diminuição da concentração em função do tempo com o intuito de se obter a taxa de renovação horária, rph em h^{-1} . A recolha do gás poderá ser efetuada a uma altura de cerca de metade do pé-direito da divisão [4].

Além disso, é aconselhável uma concentração máxima do gás de cerca de 10 vezes inferior ao limite de exposição permitido [20]. Além disso, também é recomendável utilizar uma concentração mínima de 100 vezes a concentração mínima detetável, de forma a ter-se uma resposta linear do equipamento [10].

2.5.2 ESTIMATIVA DO VALOR DE PRODUÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

O dióxido de carbono (CO₂) é frequentemente utilizado como um indicador de poluentes gerados pela ocupação e é um indicador apropriado para a qualidade do ar interior de espaços onde as pessoas e as suas atividades são a principal fonte de poluição.

A taxa de geração de outros bio efluentes pelos ocupantes é proporcional à taxa de geração de dióxido de carbono. Ambas as taxas são geradas a uma taxa que varia proporcionalmente em função do tamanho do corpo das pessoas, do seu número no local em estudo e do seu nível de atividade. Apesar do dióxido de carbono estar correlacionado com queixas de desconforto no interior dos edifícios, não é um gás poluente preocupante no interior dos edifícios, visto que o dióxido de carbono não influencia a perceção de qualidade do ar nos níveis de concentração dos locais ventilados. O dióxido de carbono é usado como indicador da produção de odores.

O consumo de oxigénio pode ser relacionado com a produção de dióxido de carbono, através da equação 2.4, que depende sobretudo do tamanho da pessoa e do seu nível de intensidade física. Essa taxa de consumo de oxigénio é dada por:

$$qO_2 = \frac{2,76 * 10 - 6 * A_D * M}{0,23 * RQ + 0,77} \quad (2.4)$$

Com:

- qO₂: taxa de consumo de oxigénio [m³.s⁻¹]
- A_D: área de superfície corporal DuBois [m²]
- M: taxa de atividade metabólica por unidade de área [met]
- RQ: quociente respiratório (RQ=0,83 no presente trabalho)

A área de superfície corporal A_D é dada por:

$$A_D = 0,203 * H^{(0,725)} * W^{(0,425)} \quad (2.5)$$

Com:

- H: altura da pessoa [m]
- W: massa corporal [kg]

A taxa de produção de dióxido de carbono está relacionada com a taxa de consumo de oxigénio através de uma equação, traduzida por meio do gráfico da figura 2.15.

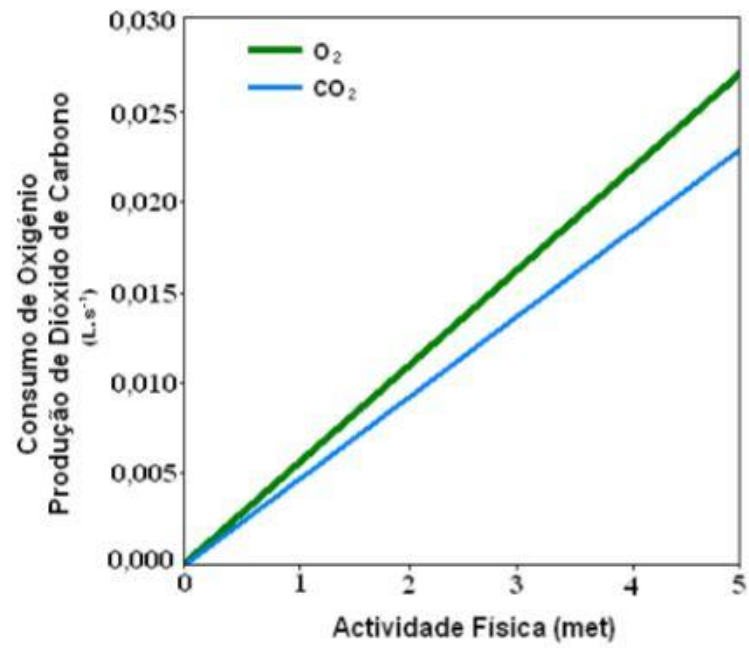


Figura 2.15 – Relação da atividade física com a taxa de geração de CO_2 e produção de O_2 . [7]

3

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1. CASO DE ESTUDO

3.1.1. DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO

A moradia em estudo situa-se em Arcozelo, Vila Nova de Gaia, e foi construída em 2007. Tem 3 frentes e constituída por 3 pisos, sendo o último no desvão do telhado. A moradia está implantada numa urbanização composta apenas por moradias com cêrcea máxima de 2 pisos acima do solo. Situa-se a cerca de 2 km da orla marítima e a 77 metros de altitude (figuras 3.1 e 3.2).



Figura 3.1 – Vista parcial do edifício em estudo.



Figura 3.2 – Localização Geográfica da Moradia

A cave é uma zona de lazer com acesso direto para o pátio rebaixado. No rés-do-chão situa-se a cozinha, a dispensa, o hall de entrada, um WC e a sala comum. No primeiro piso, situam-se 2 quartos, uma suíte e um WC. No desvão do telhado, situa-se a segunda suíte com acesso a um terraço.

A moradia em estudo possui estrutura de betão armado reticulada de pilares e vigas. As fundações são sapatas isoladas e vigas lintéis de betão armado. As lajes de piso são aligeiradas e foram betonadas «in situ». A cobertura possui duas águas orientadas a Norte e a Sul, sendo constituída por telha cerâmica assente em isolamento térmico de poliestireno extrudido (XPS) de 30 milímetros e apoiada sobre laje aligeirada inclinada. As paredes exteriores são duplas em alvenaria de tijolo cerâmico furado com 35 cm de espessura total (11cm + caixa de ar + 15 cm) com isolamento térmico de poliestireno extrudido (XPS) de 30 milímetros. O revestimento exterior é em granito de 15 milímetros e em reboco areado.

As portas interiores são em madeira, em alguns casos com vidro incorporado, e estão calafetadas com borracha. Na base das portas existe uma abertura de cerca de 7 milímetros.

A caixilharia exterior é em alumínio termolacado com vidro duplo e com folhas de correr. Como proteção solar foram aplicadas portadas exteriores metálicas com lâminas móveis. Não existem caixas de estores nem grelhas de admissão de ar.

O edifício possui sistemas de ventilação mecânica acionados manualmente em todos os WC's e na cozinha. Na sala há uma lareira com recuperação de calor os quartos possuem sistema de climatização. No decorrer da campanha experimental os equipamentos de climatização e ventilação estiveram desligados.

3.1.2. COMPARTIMENTOS EM ESTUDO

Na presente dissertação, foram selecionados dois compartimentos para a realização das medições, sendo eles a sala e o quarto localizado no desvão da cobertura (Figuras 3.3 e 3.4 e Quadro 3.1). O controlo da ocupação e utilização destes espaços foi efetuado através da criação de folhas de registo diárias, onde se indicam, para além do número de ocupantes, o tempo de permanência no compartimento e as condições fronteira nesse período.

Quadro 3.1 – Características dos casos de estudo

Divisão	Área (m ²)	Pé- direito médio(m)	Volume (m ³)	Portas interiores	Vãos exteriores	Orientação
Sala	35	2,40	84,5	2	1	Norte
Quarto	33	2,20	72,2	2	1	Sul

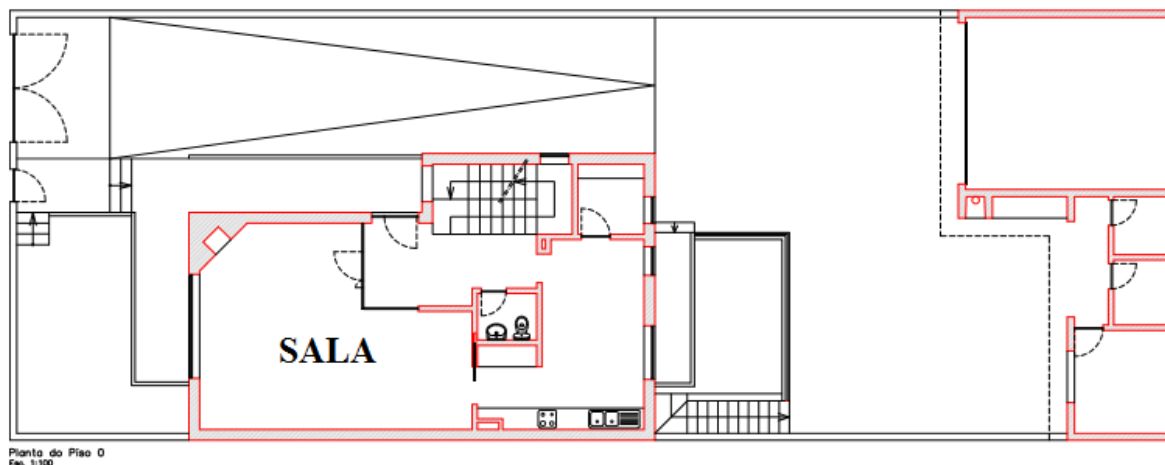


Figura 3.3 – Planta do rés-do-chão

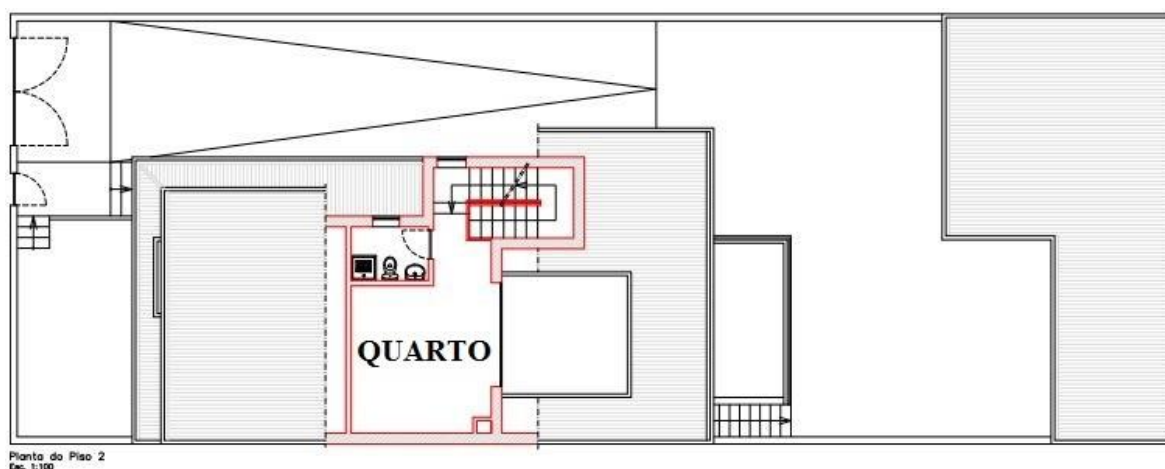


Figura 3.4 – Planta do desvão da cobertura

3.2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

3.2.1. AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES INTERIORES

Com o objetivo de determinar caudais de ventilação e quantificar taxas de renovação horárias para condições de serviço, recorreu-se à utilização de dois métodos, sendo eles o método do gás traçador com hexafluoreto de enxofre (SF_6) e à medição em contínuo do dióxido de carbono (CO_2) produzido pelos ocupantes, adotando nos dois casos a técnica do declive para a extração dos resultados.

A medição da concentração de CO_2 produzido no interior decorreu em contínuo durante todo o período de monitorização (de 21 de abril a 17 de junho), tendo-se registado as rotinas dos ocupantes para posterior interpretação dos resultados (figura 3.5).

Em cada um dos compartimentos estudados foram utilizados dois medidores por absorção não dispersiva de infravermelhos, um da marca *Telaire 7001* ligado a um *data logger* HOB0 U12 e outro de marca *Chauvin Armoux 1510* (figura 3.6b). Além da medição da concentração de CO_2 no espaço em estudo estes equipamentos permitiram também medir a temperatura e humidade relativa do ar interior.

As principais características dos equipamentos estão descritas no Quadro 3.2. Os sensores foram colocados de forma a que a estagnação do ar não influenciasse os valores das medições e a uma altura superior a 50 centímetros, de acordo com a figura 3.7, e seguindo as recomendações da norma ISO 7726.

Quadro 3.2 – Características dos equipamentos utilizados

Equipamento	<i>Telaire 7001</i>	<i>Hobo-H08-007-02</i>		<i>Chauvin Armoux 1510</i>		
	CO_2	Temperatura	Humidade	CO_2	Temperatura	Humidade
Precisão	$\pm 50 \text{ ppm}$	$\pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 5\%$	$\pm 50 \text{ ppm}$	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 2\%$
Resolução	$\pm 1 \text{ ppm}$	$\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,4\%$	$\pm 1 \text{ ppm}$	$\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,1\%$

Todas as medições das concentrações de SF_6 e de CO_2 foram registadas em folhas de cálculo *excel*, tendo-se efetuado o tratamento de dados para cada caso.

Relativamente aos softwares, utilizou-se o «BoxCar Pro» para as extrações das concentrações de CO_2 e o «1312 PC» para as extrações das concentrações do gás SF_6 . No caso do CO_2 , pelo fato deste gás estar presente na nossa atmosfera, considerou-se uma concentração exterior de cerca de 400 ppm [21], valor este que foi subtraído aos valores medidos, obtendo-se o declive da reta que traduz o valor das renovações horárias.

Folha de Registo – Tempo de Permanência	Código de referência do Ensaio: (Q0206)
Divisão em estudo: QUARTO	Data:02/06/2016

Condições fronteira	Porta PA: AT	Portada: FT	Porta Casa de Banho: FT
--------------------------------	-------------------------	------------------------	------------------------------------

E - Hora de Entrada; S - Hora de saída

Assinatura:	E	S	E	S	E	S	E	S
Pedro Moreira	-	12:00	14:30	16:00	18:30	19:05	22:40	-
Alterações das condições fronteira	FT(PA)00:58		AT(PT)14:00		FT(PT)15:57		FT(PA)19:04	

Assinatura:	E	S	E	S	E	S	E	S
Ana Paula Almeida	13:15	13:30	19:00	19:15				
Alterações das condições fronteira	AT(PA)18:15							

Assinatura:	E	S	E	S	E	S	E	S
Alterações das condições fronteira								

Assinatura:	E	S	E	S	E	S	E	S
Alterações das condições fronteira								

Assinatura:	E	S	E	S	E	S	E	S
Alterações das condições fronteira								

Legenda para as alterações das condições fronteira (ex:ATPC):

AT - Abertura Total
PA - Porta de Abrir

AP - Abertura Parcial
PT - Portada

FT - Fecho Total
PB- Porta da Casa de Banho

Figura 3.5 – Exemplo folha de registo



Figura 3.6 – Medidores de CO₂: a) Telaire ligado a «data logger Hobo»; b) «Chauvin Armoux» 1510

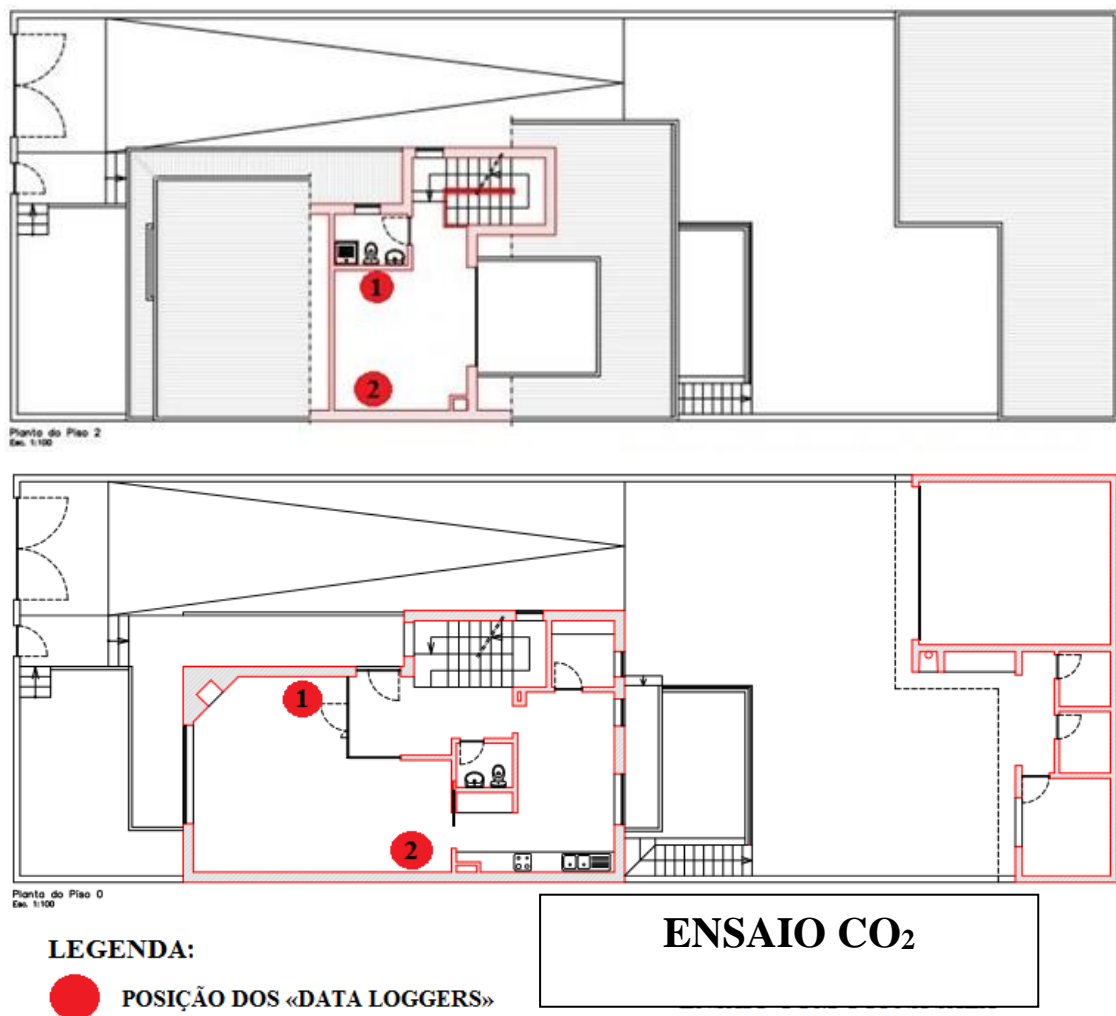


Figura 3.7 – Posição dos equipamentos: a) na sala; b) no quarto

No presente trabalho, além da medição da concentração de CO_2 , foram também avaliadas as renovações horárias utilizando como gás traçador o SF_6 .

Foram realizados ensaios pontuais na sala e no quarto, com diferentes condições fronteira (porta aberta e porta fechada). Para injeção do gás SF_6 nos espaços em estudo foi utilizada uma botija de 10 quilos.

Foram utilizadas duas ventoinhas, uma a montante do ponto de emissão de gás e direcionada para o centro do compartimento, e outra diametralmente oposta, para garantir uma distribuição uniforme do gás injetado. O ponto de recolha foi colocado no centro do compartimento em estudo, a cerca de meia altura do pé-direito (figura 3.9), tendo sido ligado a um analisador de gás foto acústico, da marca *Innova* ref^a.1312 (figura 3.8).



Figura 3.8 – Analisador de gás foto acústico *Innova* ref^a1312.



Figura 3.9 – Montagem do ensaio: a) na sala; b) no quarto

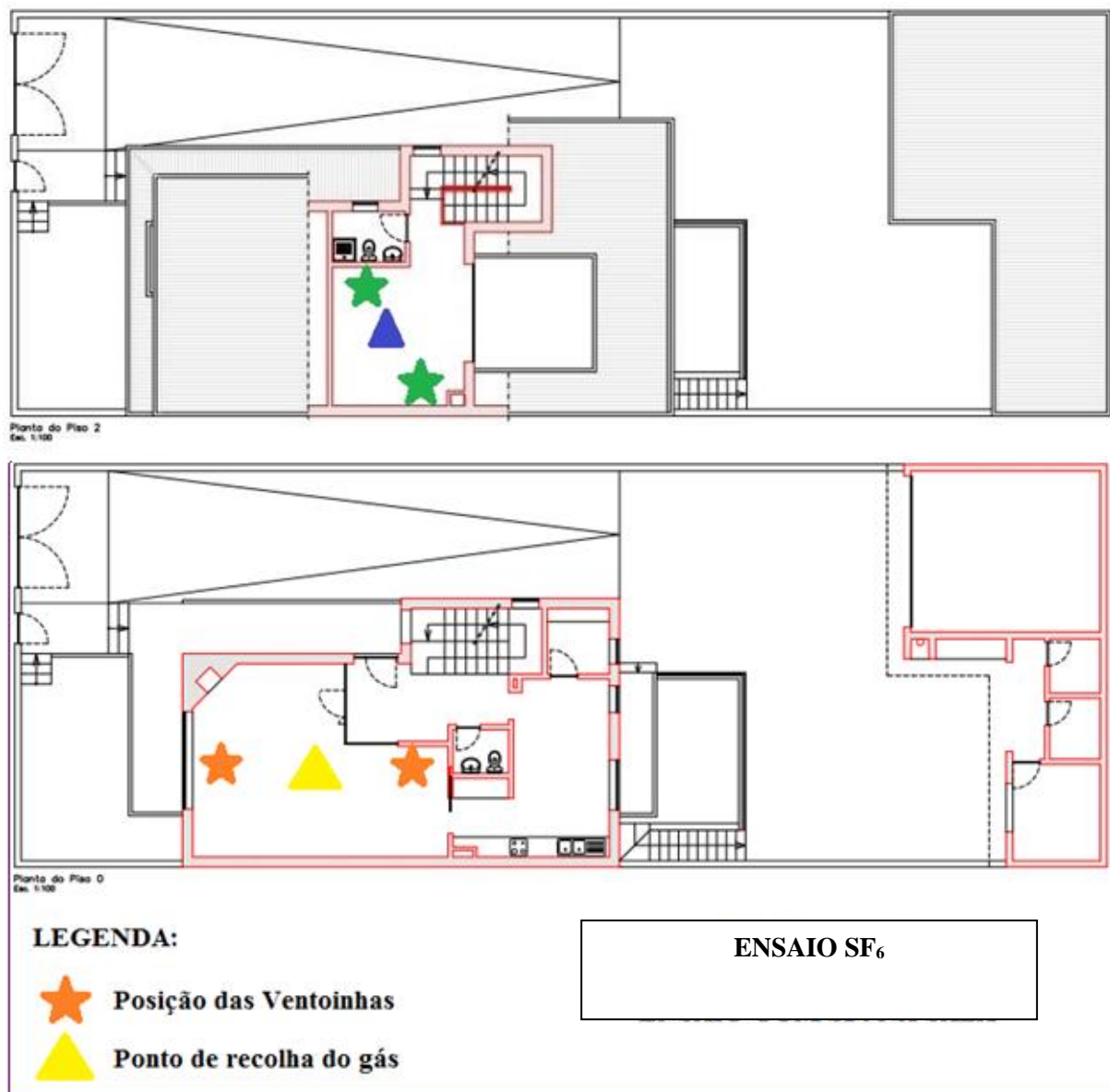


Figura 3.10 – Posição dos equipamentos: a) no quarto; b) na sala

Como já foi mencionado previamente, este procedimento está regulamentado pelas normas ASTM E741-00(2000) e pela ISO 12569(2012). O procedimento de ensaio consistiu na injeção do gás traçador SF₆ no espaço em estudo, e após se atingir uma concentração de gás uniforme, avaliou-se o seu decaimento ao longo do tempo.

Relativamente às condições fronteira, foi elaborado um plano de ensaios com alternância de portas interiores abertas e portas interiores fechadas. Os períodos de abertura de janelas correspondentes aos ensaios não foram considerados.

Nos quadros 3.3 e 3.4 indicam-se o número de ensaios realizados para cada variante, nos dois compartimentos em estudo e para ambas os métodos utilizados. Como o número total de ensaios realizados foi de 222, número elevado, são apresentados a título de exemplo alguns ensaios nos «Anexos», estando a totalidade dessas medições, bem como os parâmetros físicos médios para os períodos específicos de cada ensaio representados por folhas resumidas *excel* apresentadas também em «Anexos».

Quadro 3.3 – Número de ensaios com CO₂ realizados para cada compartimento e por variante

Ensaio	Porta aberta	Porta fechada
1.Sala	20	28
2.Quarto	19	23

Quadro 3.4 – Número de ensaios com SF₆ realizados para cada compartimento e por variante

Ensaio	Porta aberta	Porta fechada
1.Sala	27	39
2.Quarto	26	40

3.2.2. AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES EXTERIORES

Os dados climáticos exteriores foram obtidos com recurso a uma estação meteorológica da TFA (figura 3.11), que permitiu monitorizar a direção e velocidade do vento, a temperatura e humidade relativa de ar. Cada uma das unidades exteriores estão conectadas individualmente por rádio à central (figura 3.11a), que armazena os dados e permite a sua transferência para um computador.

O sensor de higrotérmico permite a medição de temperatura e humidade (figura 3.11b) e foi instalado no exterior da habitação em zona semicoberta protegida da chuva e da radiação solar, de acordo com as indicações do fabricante. O aparelho é apenas resistente á água.

O anemómetro e cata-vento (figura 3.11c) permitiram a medição da velocidade e direção do vento, respetivamente, e foram instalados em zona aberta no exterior da habitação de acordo com as indicações do fabricante. Estes sensores são alimentados por energia solar.

O transceptor USB (figura 3.11d), permitiu fazer a ligação da estação meteorológica ao computador portátil, onde foram tratados utilizando o software «Heavy Weather» (figura 3.12). A distância máxima do computador portátil e recetor da estação meteorológica são 25 metros.

O sensor de pluviosidade (figura 3.11e) foi instalado, embora os seus dados não tenham sido utilizados por não serem significativos.

O posicionamento dos sensores pode condicionar os resultados obtidos, uma vez que estes não se encontram numa zona livre de resultados. Desta forma, os vários sensores foram instalados a uma distância não superior a 50 metros de modo a que o contacto com o sistema de gestão e armazenamento de dados, localizado na cozinha da habitação, não fosse prejudicado (figuras 3.13 e 3.14).



Fig.3.11 – Equipamento de medição do ambiente exterior

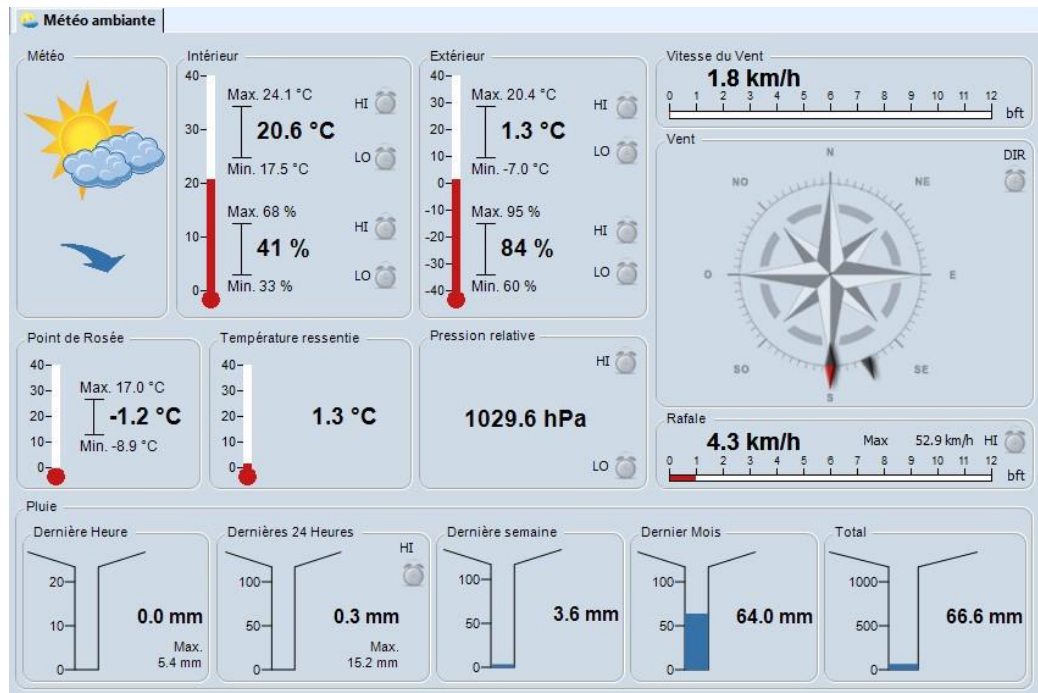


Fig.3.12 – Software «Heavy Weather».

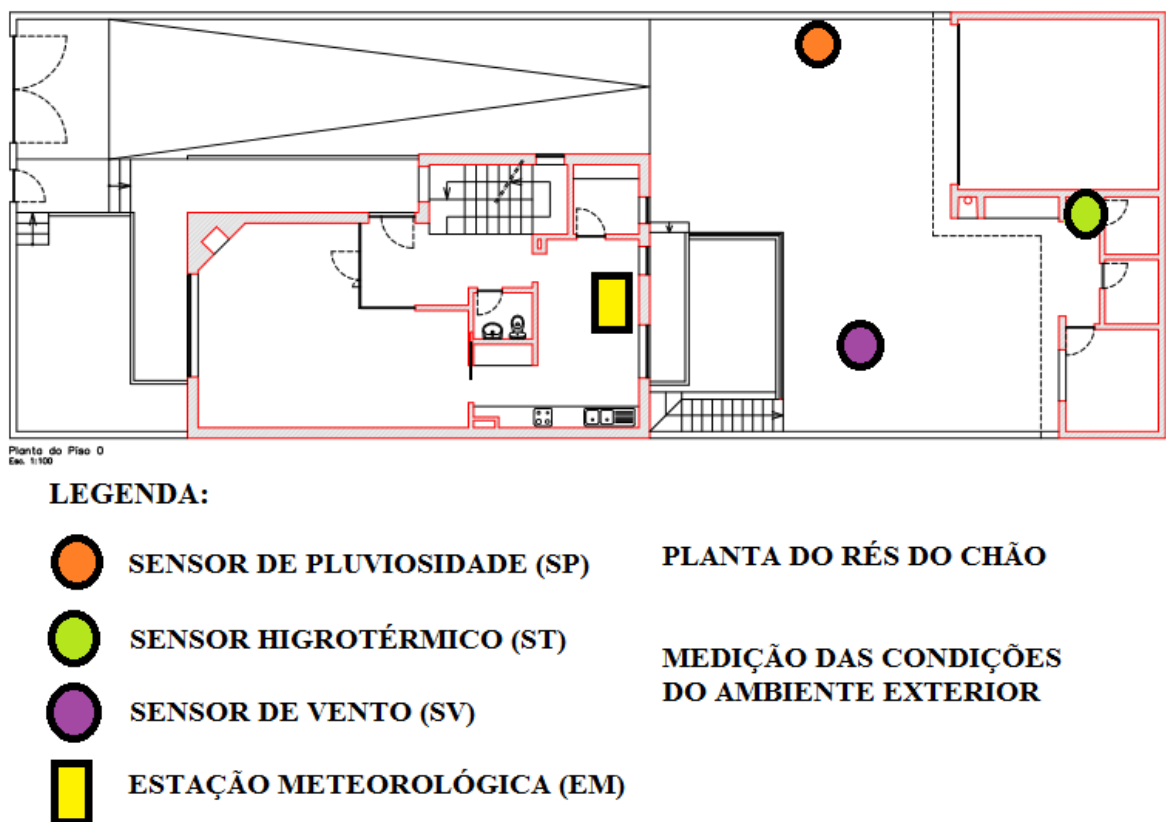


Figura 3.13 – Planta com a posição da colocação do equipamento de medição do ambiente exterior

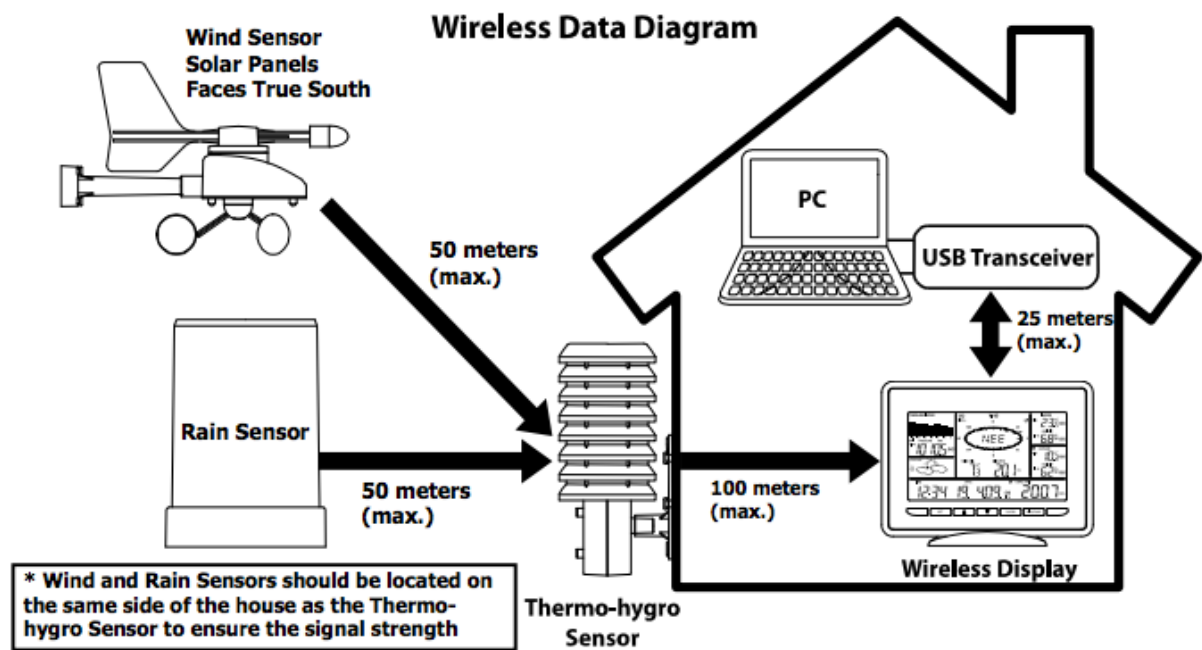


Fig.3.14 – Esquema da instalação da estação meteorológica

4

RESULTADOS

4.1. CARATERIZAÇÃO DOS CLIMAS EXTERIOR E INTERIOR

4.1.1. CARATERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

4.1.1.1. Temperatura

A evolução cronológica das medições da temperatura exterior está representada pela figura 4.1.

Verifica-se que temperatura exterior registou valor médio de 19,17°C conforme apresentado no quadro 4.1. O valor de temperatura máxima foi de 32,3° C atingido no início do mês de junho e o valor de temperatura mínima de 13,8°C foi registado em maio. No quadro 4.1 é feito um resumo dos valores de temperatura medidos ao longo de toda a campanha experimental.

Quadro 4.1 – Temperatura exterior

Local	Temperatura exterior média (°C) ± Desvio-padrão (°C)	Temperatura máxima registada (°C)	Temperatura mínima registada (°C)
Ambiente exterior	19,17±2,60	32,3	13,8

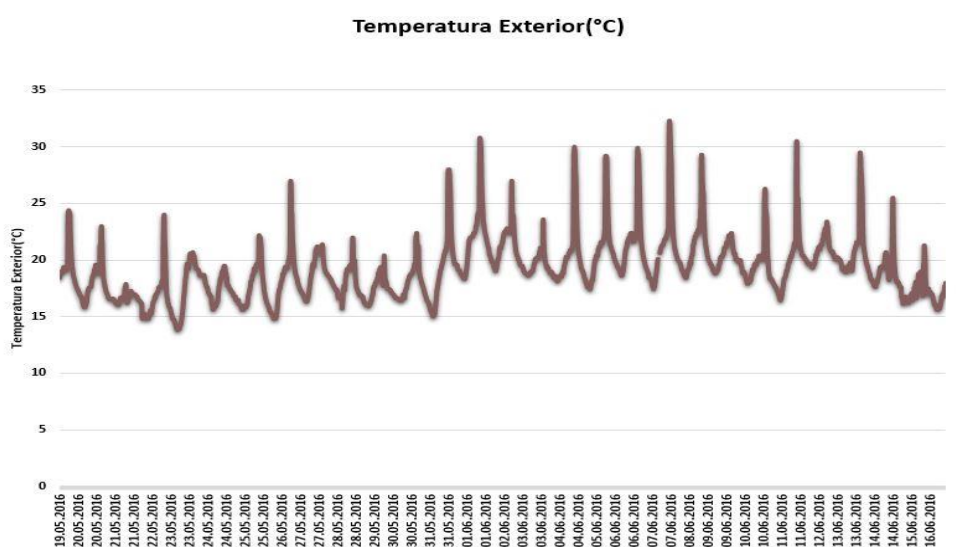


Figura 4.1 – Evolução cronológica da temperatura exterior

4.1.1.2. Humidade Relativa

A evolução cronológica das medições da humidade relativa exterior está representada pela figura 4.2. no qual se verifica uma oscilação de valores ao longo de todo o período de medição sem, contudo, manifestar uma tendência significativa.

Pelo quadro 4.2 verifica-se que a humidade relativa exterior registou valor médio de 71,35 % com desvio padrão de 8,54. O valor máximo atingido foi 88 % ligeiramente superior ao valor máximo da humidade relativa interior. Tal como aconteceu para a humidade relativa interior, o valor mínimo de 39% para a humidade relativa exterior foi atingida no início do mês de Maio.

Quadro 4.2 – Humidade Relativa Exterior

Local	Humidade relativa interior média (%) ± Desvio-padrão (%)	H.R. máxima registada (%)	H.R. mínima registada (%)
Átrio da Moradia	71,35±8,54	88	39

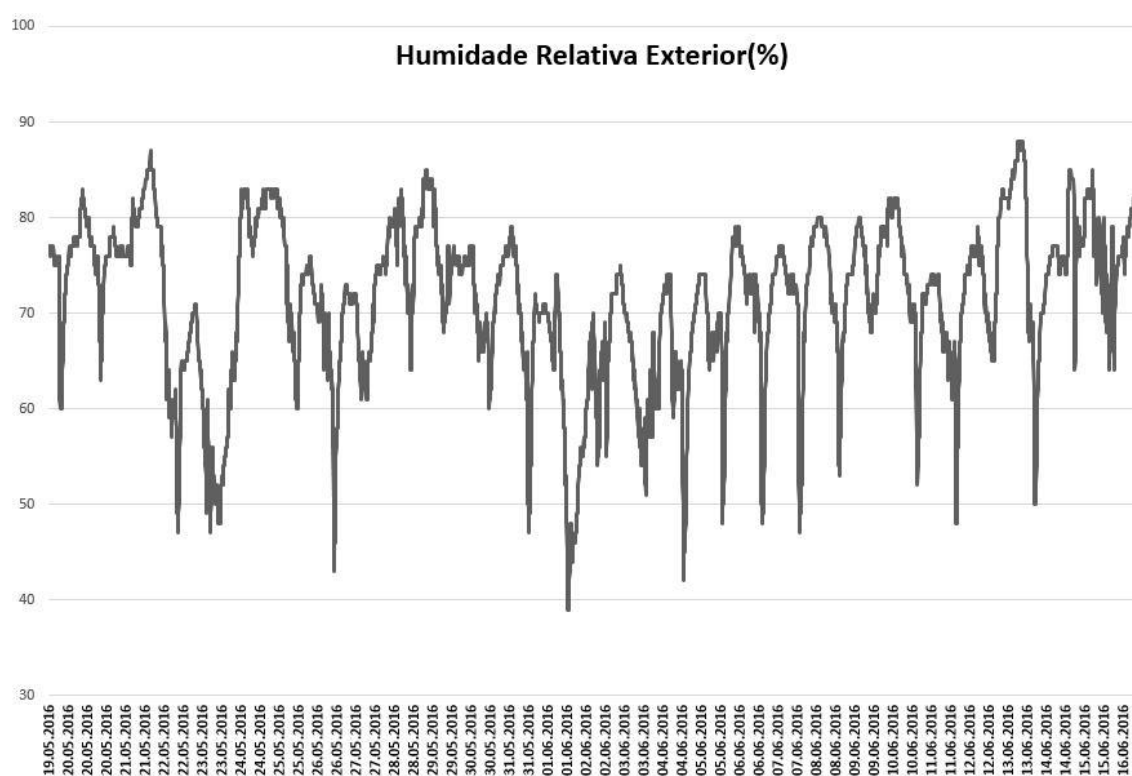


Figura 4.2 – Evolução cronológica da humidade relativa exterior.

4.1.1.3. Direção do Vento

A frequência absoluta da direção do vento ao longo do período de ensaios está representada na figura 4.3. A direção mais frequente verificada foi ESE.

Pelo quadro 4.3 representa-se também o valor médio e respectivo desvio padrão da direção do vento. Pela análise do desvio padrão verifica-se uma grande dispersão na direção do vento. Tal situação deve justificar-se pela existência de edifícios adjacentes que provocam oscilações sobretudo ao nível mais junto ao solo onde foi colocada o aparelho de medição.

Quadro 4.3 – Direção do vento.

Local	Direção do vento média (°) ± Desvio-padrão (°)	Moda (°)
Ambiente exterior	124,51±80,67 (ESE-SE)	112,5 (ESE)



Figura 4.3 – Gráfico radar da frequência da direção do vento.

4.1.1.4. Velocidade do Vento

Na análise dos resultados das medições da velocidade do vento foi medida a velocidade ao nível do piso térreo.

A figura 4.4 representa a evolução cronológica da velocidade do vento que serviu de base para os valores quer da sala quer do quarto.

O quadro 4.4 apresenta os valores médios da velocidade do vento e respetivas velocidades máximas.

Quadro 4.4 – Velocidade do vento

Velocidade do vento média(m/s) ± Desvio-padrão(m/s)	V. vento máxima registada(m/s)	V. vento mínima registada(m/s)
0,37±0,41	2,8	0

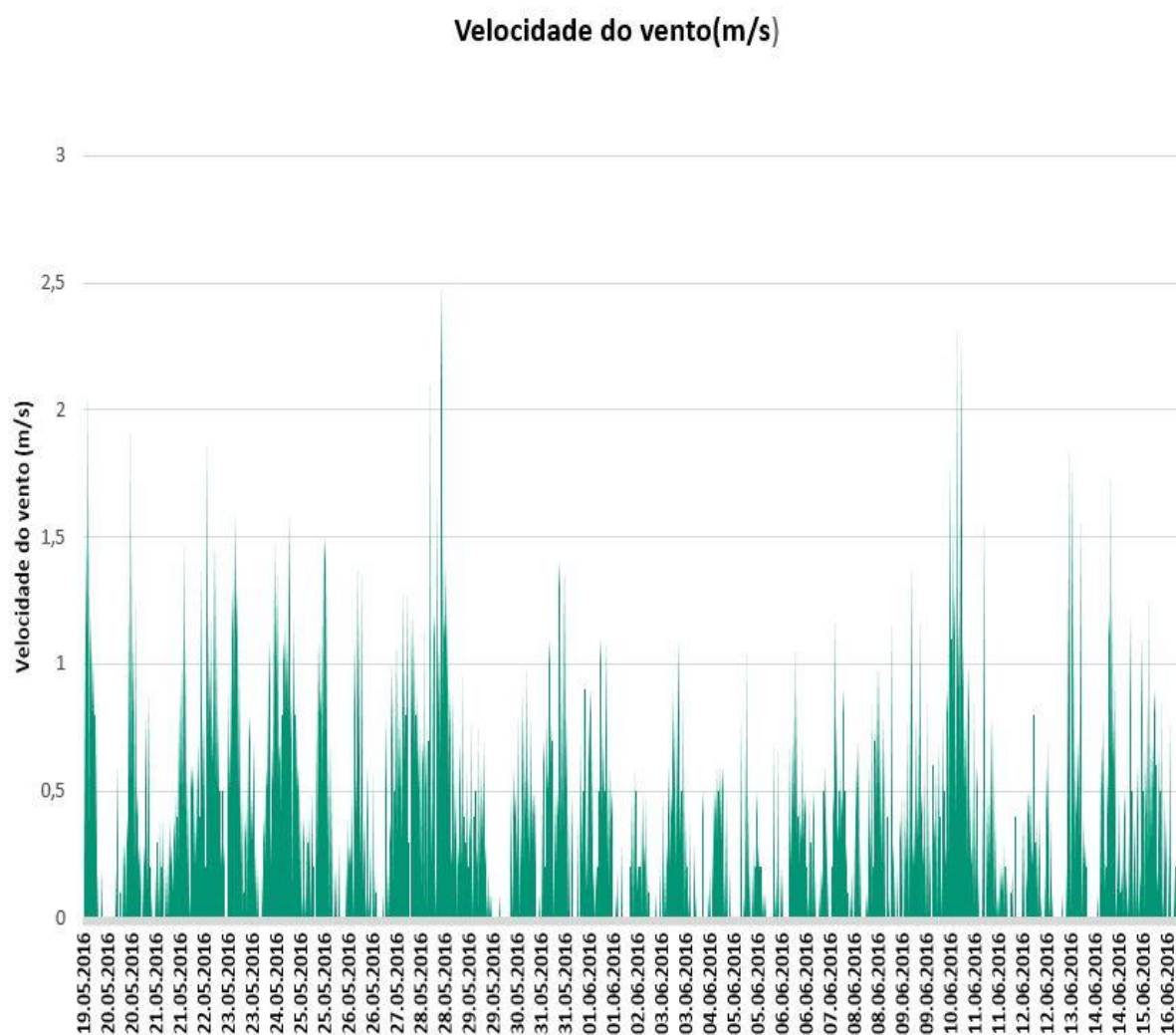


Figura 4.4 – Evolução cronológica da velocidade do vento ao nível da sala

Como era de esperar, verifica-se uma grande dispersão dos valores das velocidades atendendo valor elevado do desvio padrão.

A velocidade média é de cerca de 0,31 m/s e a velocidade máxima atingida foi de 2,8 m/s.

O sensor de medição da velocidade foi colocado no pátio das traseiras da habitação orientado a Sul a uma altura de 1,20 metros do solo. Não foi possível colocar o sensor de medição do vento numa posição desprovida de obstáculos. Por essa razão, poderá existir menos precisão nos valores apresentados. Teve-se o cuidado de posicionar o sensor de medição de velocidade no centro do pátio de forma minorar o impacto de muros e edifícios anexos.

4.1.2. CARATERIZAÇÃO DO CLIMA INTERIOR

4.1.2.1. Temperatura

Os ensaios de medição do clima interior decorreram de Abril a Junho. A temperatura interior foi um parâmetro físico medido quer na sala quer no quarto através de quatro «data loggers», dois em cada divisão, pelo que os valores aqui representados são valores médios dessas extrações duplas. Esta evolução da temperatura interior ao longo do tempo está representada pela figura 4.5 para a sala e pela figura 4.6 para o quarto. Por sua vez, o quadro 4.5 procura apresentar os valores médios, desvio padrão, bem como os valores máximos e mínimos. Os valores de desvio padrão por serem da mesma ordem de grandeza demonstram que os ensaios tiveram o mesmo nível de precisão.

Verificou-se que a temperatura média do quarto foi ligeiramente superior á temperatura média da sala. A temperatura máxima e a temperatura mínima também foram registadas no quarto. Esta situação é explicada pelo facto de o quarto se situar no piso superior com contacto maior com a envolvente do edifício nomeadamente a fachada sul e a cobertura. Por este motivo o quarto aquece ou arrefece com maior facilidade originando maior diferencial entre as temperaturas extremas. Ao longo do período de ensaios as temperaturas tiveram uma tendência de subida, explicado pela aproximação do período de Verão. Entre o início e o fim do período de ensaios os valores de temperatura medidos subiram em cerca de 3°C como se pode verificar pela leitura dos gráficos.

Quadro 4.5 – Temperaturas interiores nas divisões em estudo.

Divisão em estudo	Data Logger	Temperatura interior média \pm Desvio-padrão °C	Temperatura máxima registada	Temperatura mínima registada
Sala	Nº1	20,15 \pm 1,52	24,66	17,70
	Nº2	19,88 \pm 1,59	24,40	16,76
Quarto	Nº1	20,27 \pm 1,92	26,73	16,38
	Nº2	20,71 \pm 1,76	24,78	17,70

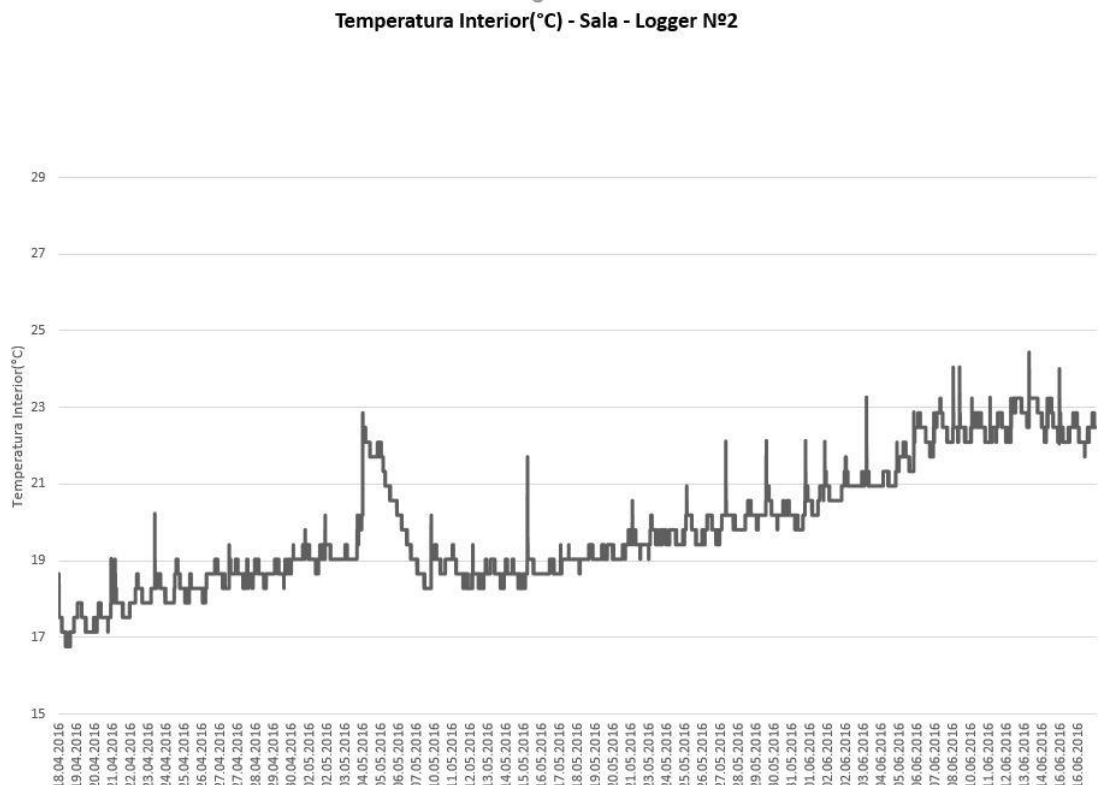
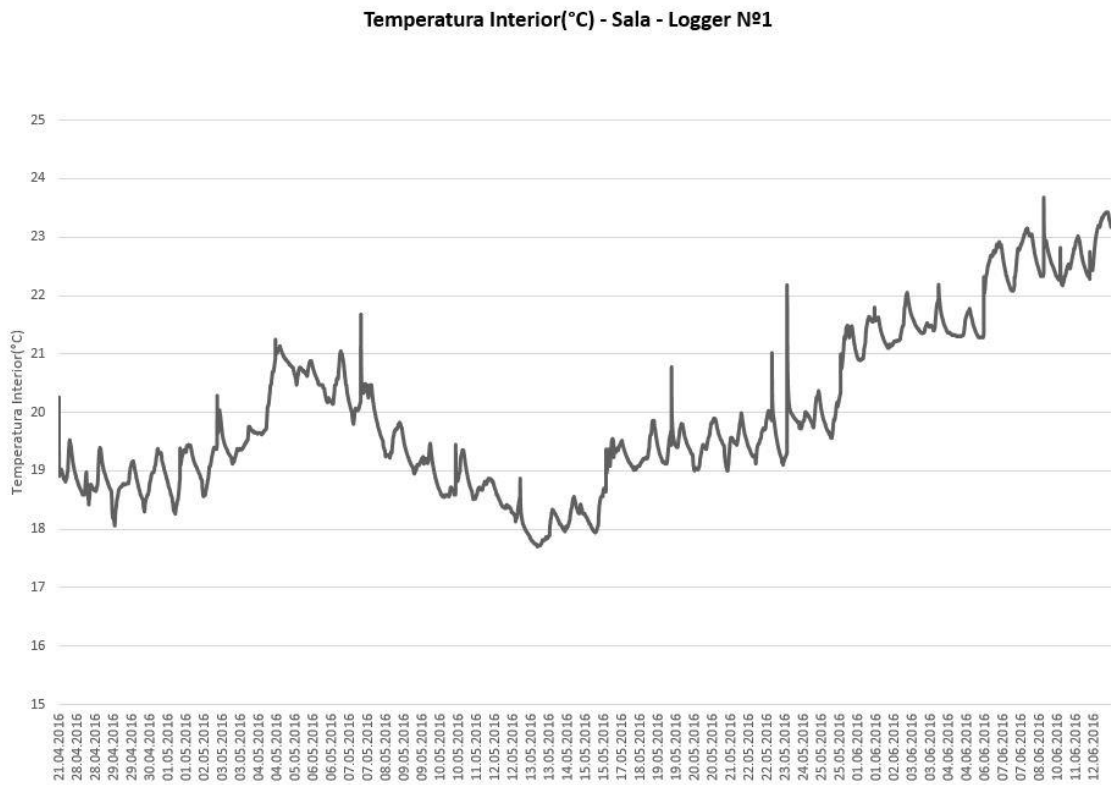


Figura 4.5 – Evolução cronológica da temperatura interior na sala

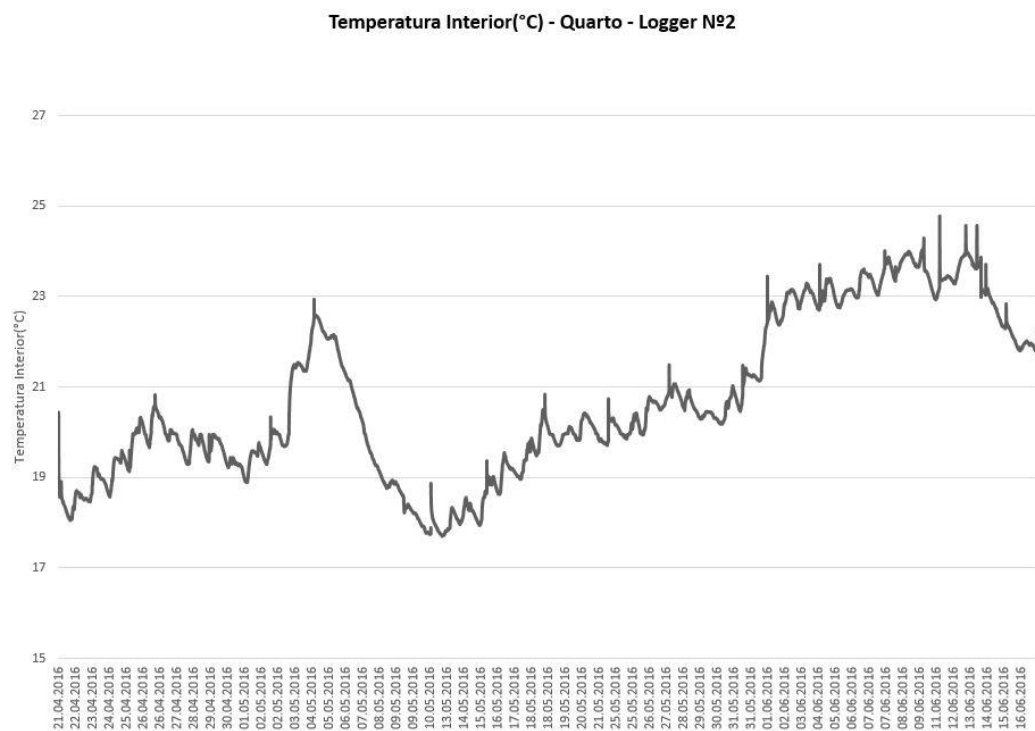
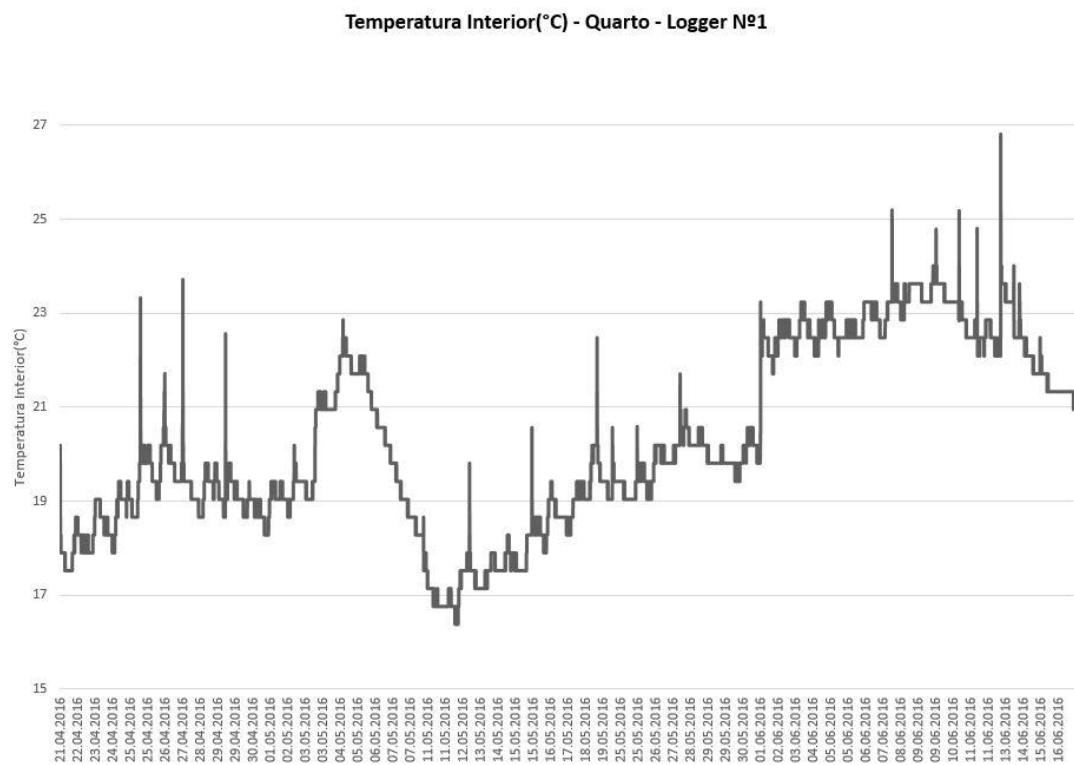


Figura 4.6 – Evolução cronológica da temperatura interior no quarto.

4.1.2.2. Humidade Relativa

A humidade relativa foi medida quer na sala quer no quarto através de quatro «data loggers», dois em cada divisão, pelo que os valores aqui representados são valores médios dessas extrações duplas. O quadro 4.6 apresenta os valores médios, desvio padrão, bem como os valores máximos e mínimos.

A evolução da humidade relativa interior ao longo do período de ensaios está representada pela figura 4.7 para a sala e pela figura 4.8 para o quarto.

No quarto foram registados os valores máximos e mínimos da humidade relativa.

Verifica-se uma diminuição de humidade relativa na 1ª semana de Maio no período que coincidiu com uma subida de temperatura. No restante período a humidade relativa retomou os valores iniciais até ao fim do período de ensaios.

Quadro 4.6 – Humidade relativa interior nas divisões em estudo.

Divisão em estudo	Data Logger	Humidade relativa interior média (%) ± Desvio-padrão	H.R. máxima registada (%)	H.R. mínima registada (%)
Sala	Nº1	72,36 ± 5,08	82,02	49,40
	Nº2	66,43 ± 5,78	78,60	41,20
Quarto	Nº1	56,13 ± 3,51	74,30	40,80
	Nº2	75,99 ± 3,96	83,10	49,44

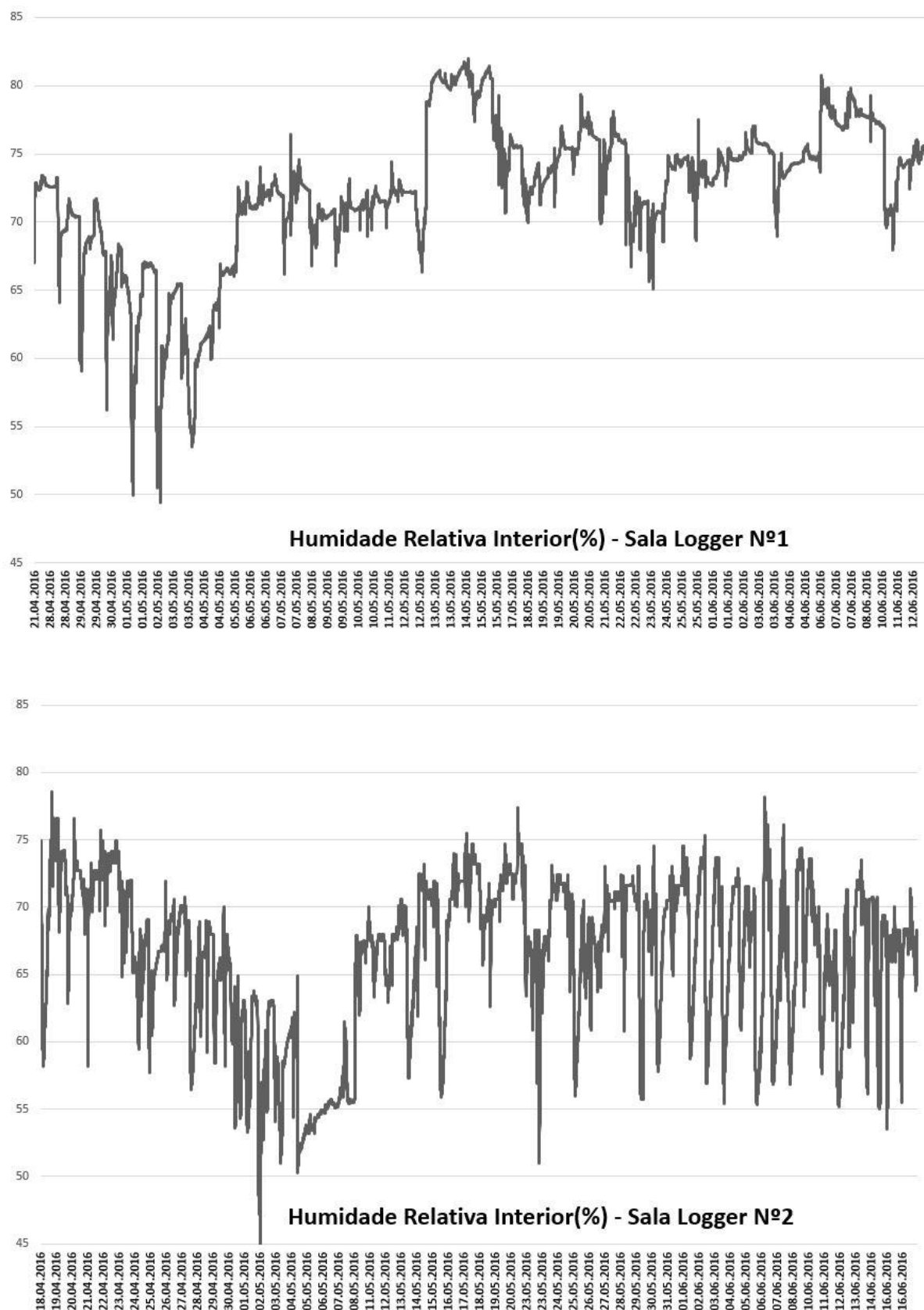


Figura 4.7 – Evolução cronológica da humidade interior na sala

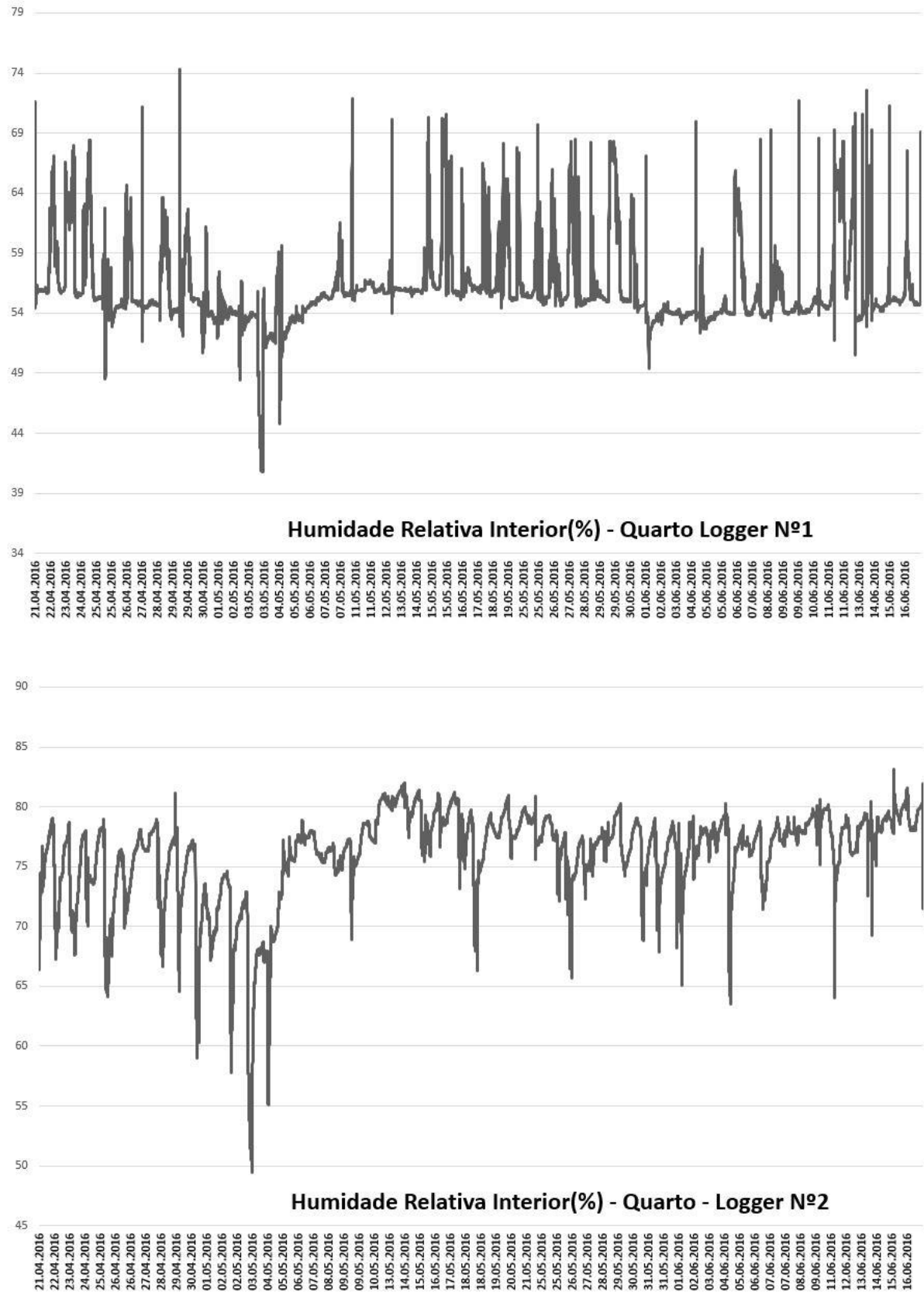


Figura 4.8 – Evolução cronológica da humidade interior no quarto

4.2. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂

Nos gráficos representados nas figuras 4.9 e 4.10 estão representadas as evoluções das concentrações de CO₂ no quarto, ao longo do tempo, para os dois “loggers”. Nas figuras 4.11 e 4.12 estão representadas as mesmas evoluções na sala.

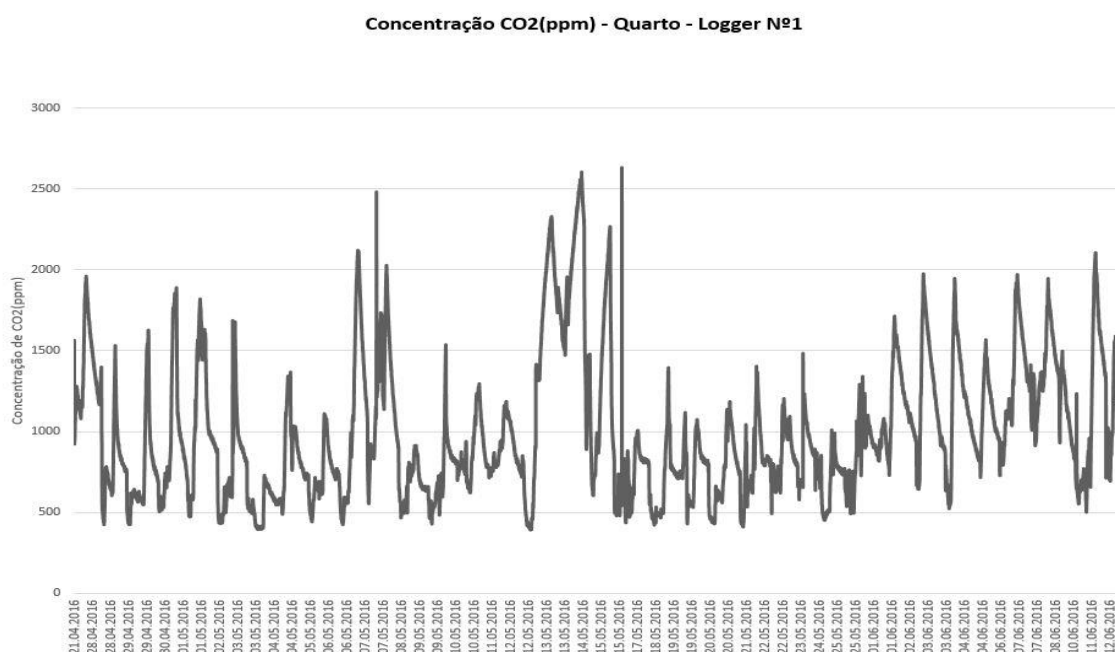


Figura 4.9 – Evolução cronológica das concentrações de CO₂ no quarto – Logger nº1.

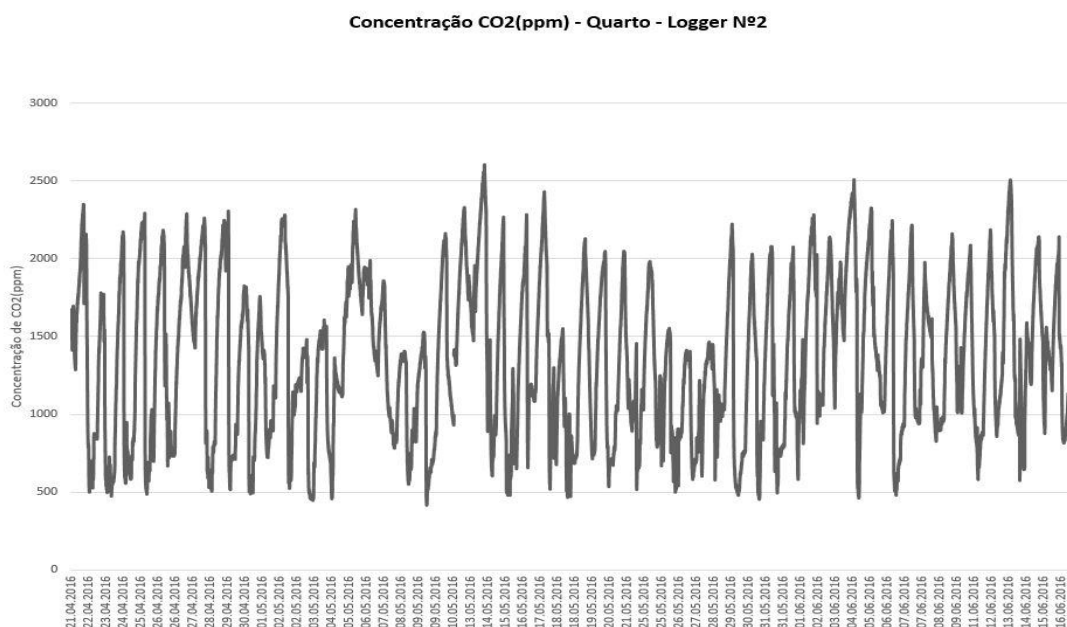


Figura 4.10 – Evolução cronológica das concentrações de CO₂ no quarto – Logger nº2.

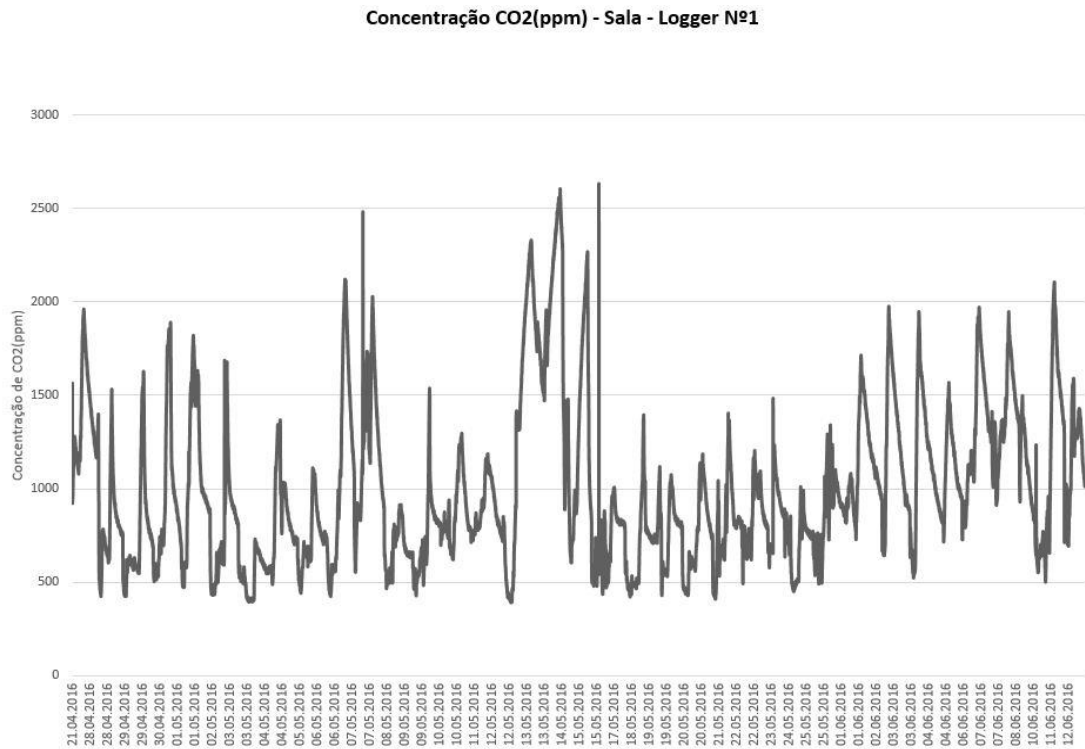


Figura 4.11 – Evolução cronológica das concentrações de CO₂ na sala – Logger nº1.

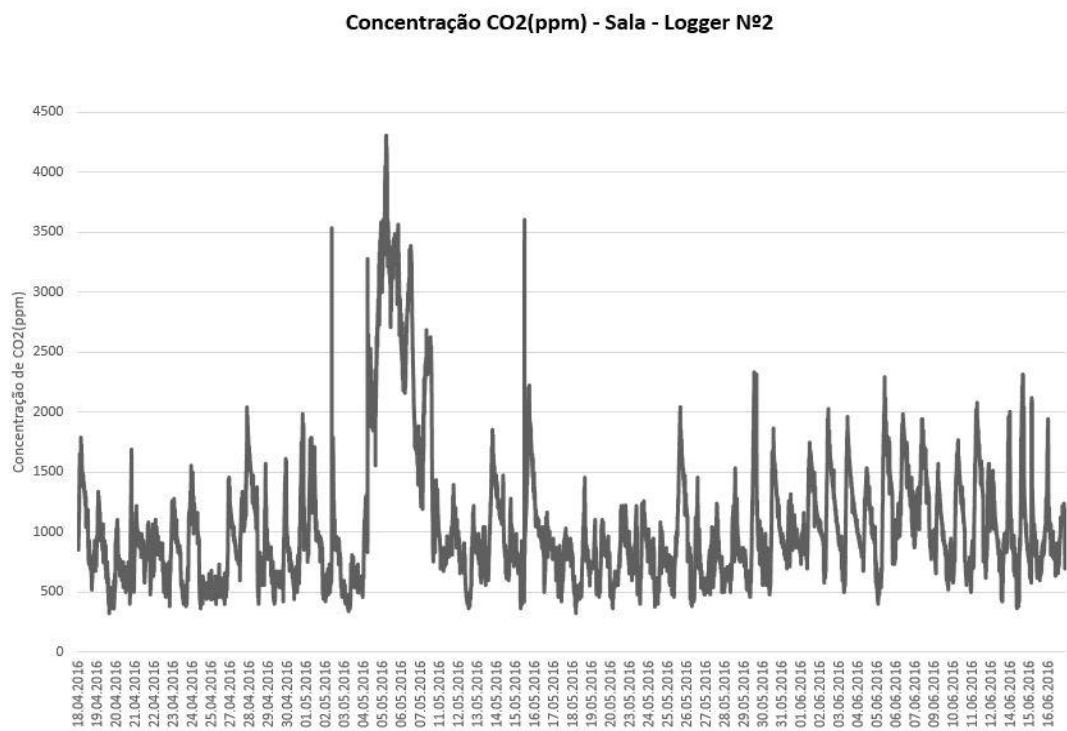


Figura 4.12 – Evolução cronológica das concentrações de CO₂ na sala – Logger nº2.

4.3. TAXAS DE VENTILAÇÃO

4.3.1. TAXAS DE RPH AVALIADAS ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO DO CO₂

Foram realizados 43 ensaios com portas abertas (PA), 20 na sala e 23 no quarto, e 50 ensaios com portas fechadas (PF), 28 na sala e 22 no quarto, perfazendo um total de 93 ensaios com este método. No quadro 4.7 estão representados valores médios, desvio-padrão, máximos e mínimos.

Os valores médios de rph nos dois compartimentos em estudo são inferiores ao valor regulamentar de 0,4 h⁻¹.

Em situação de porta aberta a sala teve um valor médio de rph de cerca do dobro do valor do rph do quarto. Esta situação justifica-se pelo fato de ao nível do rés-do-chão haver maior circulação de pessoas e aberturas de portas para o exterior com consequente aumento de ventilação.

Verifica-se que com a porta fechada os valores de rph são bastante baixos para os dois casos.

Os valores reduzidos do desvio padrão atestam a precisão destes resultados.

As figuras 4.13 e 4.14 representam respetivamente os gráficos comparativos da taxa de rph e caudal de ventilação associado.

Quadro 4.7 – Taxa Rph CO₂

Divisão em estudo	Condição Fronteira	Taxa média Rph ± Desvio-padrão	Taxa máxima registada(h ⁻¹)	Taxa mínima registada(h ⁻¹)
Sala	PA	0,166±0,068	0,3676	0,0920
	PF	0,074±0,024	0,1767	0,0464
Quarto	PA	0,333±0,209	0,8200	0,0937
	PF	0,116±0,066	0,3157	0,0427

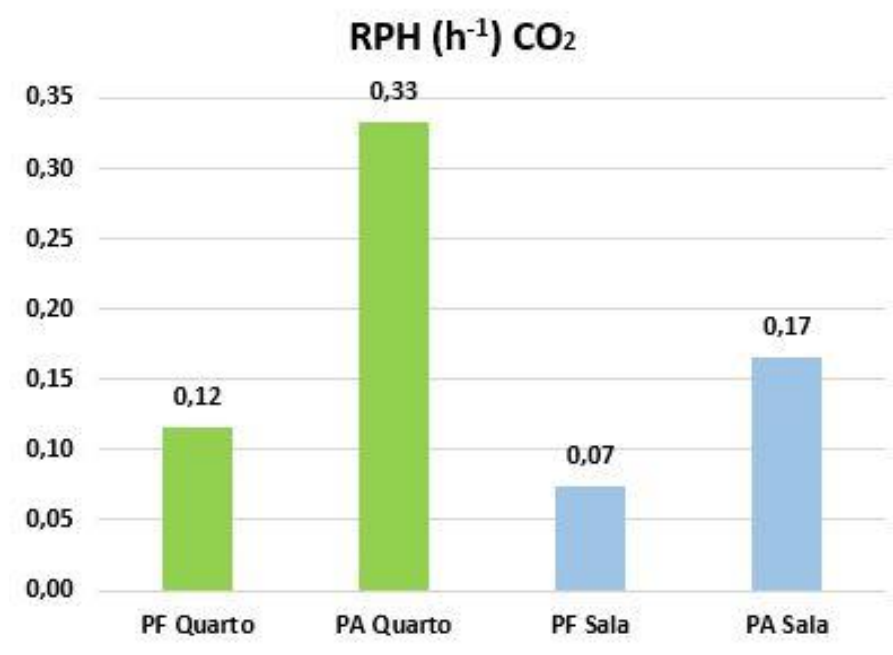


Figura 4.13 – Taxas médias Rph com o ensaio de CO_2 nas duas divisões.

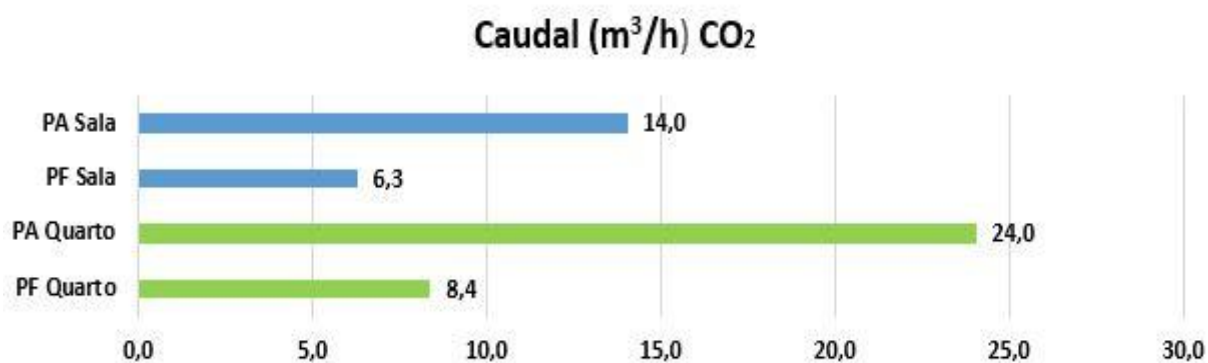


Figura 4.14 – Caudais médios do ensaio com CO_2 nas duas divisões.

4.3.2. TAXAS DE RPH AVALIADAS ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO DE SF₆

Foram realizadas fichas de ensaio para cada uma das medições, como representado pela figura 4.20. As restantes fichas de ensaio estão em «Anexos». Como se pode verificar nos «Anexos», todos os gráficos medição considerados possuem um grau de confiança (R^2) elevado, sendo sempre superior a 90%, o que constitui uma muito boa aproximação dos resultados.

Foram realizados 46 ensaios com portas abertas (PA), 23 na sala e 23 no quarto, e 84 ensaios com portas fechadas (PF), 43 na sala e 41 no quarto, perfazendo um total de 130 ensaios com este método. No quadro 4.8 estão representados valores médios, desvio-padrão, máximos e mínimos.

No período de medição do ensaio com SF₆, efetuaram-se medições das condições do ambiente exterior, dos parâmetros físicos da temperatura, humidade relativa, direção e velocidade do vento para poder correlacionar todas as variáveis.

Os valores médios de rph nos dois compartimentos em estudo, em situação de porta aberta, cumprem o valor regulamentar de 0,4 h⁻¹.

Em situação de porta aberta a sala teve um valor médio de rph de cerca do dobro do valor do rph do quarto. Esta situação justifica-se pelo fato de ao nível do rés-do-chão haver maior circulação de pessoas e aberturas de portas para o exterior com consequente aumento de ventilação.

Verifica-se que com a porta fechada os valores de rph são bastante baixos para os dois casos.

As figuras 4.16 e 4.17 representam respetivamente os gráficos comparativos da taxa de rph e caudal de ventilação associado.

Quadro 4.8 – Taxa Rph SF₆

Divisão em estudo	Condição Fronteira	Taxa média Rph ± Desvio-padrão	Taxa máxima registada(h ⁻¹)	Taxa mínima registada(h ⁻¹)
Sala	PA	0,982±0,289	1,4559	0,2303
	PF	0,080±0,031	0,1513	0,0203
Quarto	PA	0,530±0,295	1,2794	0,2400
	PF	0,097±0,044	0,2094	0,0186

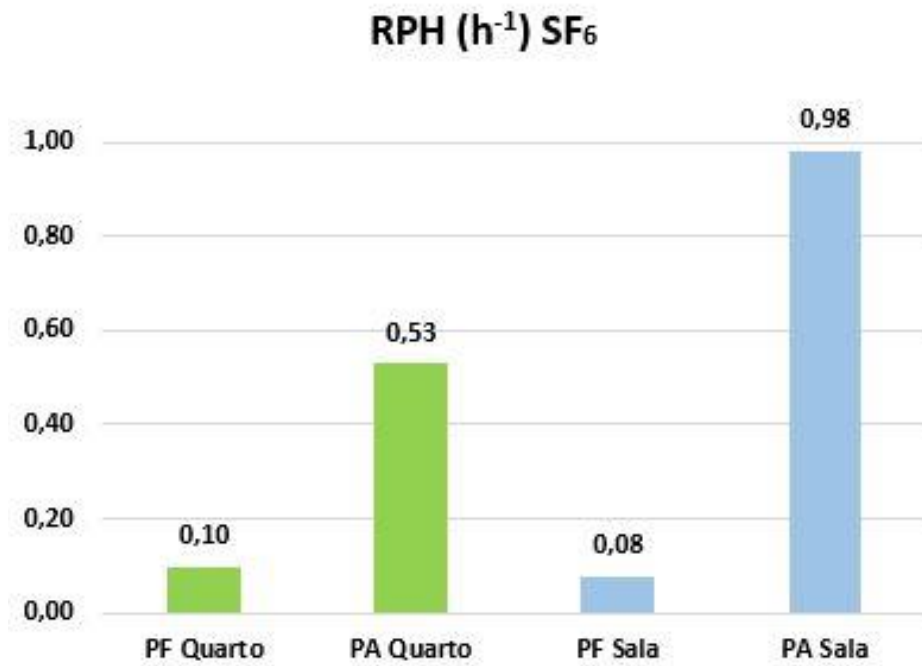


Figura 4.15 – Taxas médias Rph com o ensaio de SF_6 nas duas divisões

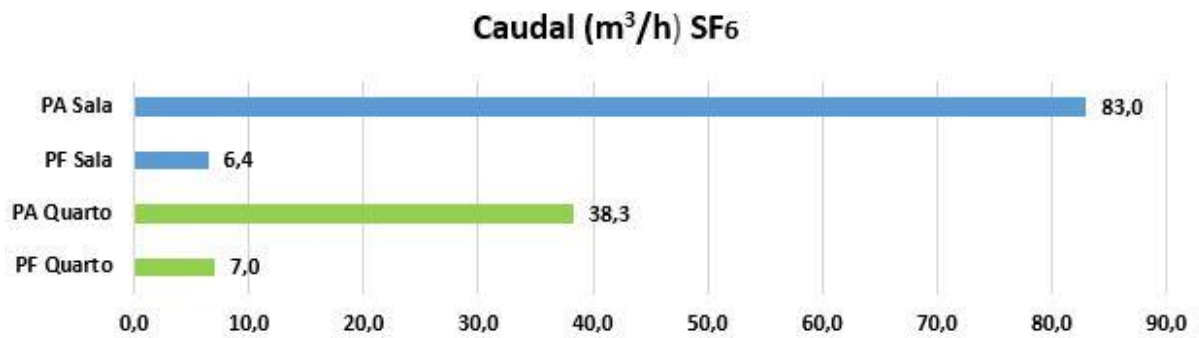


Figura 4.16 – Caudais médios do ensaio com SF_6 nas duas divisões.


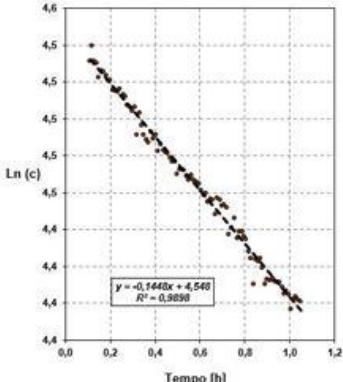
4.3.3. RESULTADOS DE TODOS OS ENSAIOS

Os valores das medições foram transferidos para o computador e tratados no formato da folha de cálculo Excel. Por cada compartimento em estudo e para cada situação fronteira foram elaborados quadros resumo conforme as figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21.

Estes quadros contemplam os resultados obtidos nos dois ensaios de CO₂ e SF₆. Foi a partir destes quadros que foram extraídos os gráficos e quadros apresentados neste trabalho.

Na figura 4.17 é apresentado um exemplo das fichas de ensaio elaboradas que estão inseridas na parte dos Anexos. Atendendo ao numero elevado de ensaios serão representados a título representativo algumas fichas.

Ficha de Ensaio Determinação de caudais de ventilação numa habitação para condições de serviço		Código de referência do Ensaio: (SF ₆ -PF)	
Divisão em estudo: Quarto		Data: 24/05/2016	

Fotografia da divisão em estudo: 	Gráfico: 
Referências Normativas: <ul style="list-style-type: none"> • ISO 12569 (2012) • ASTM E741-00 (2000) 	Características da divisão em estudo <ul style="list-style-type: none"> • Pé-direito médio: • Área: • N° Portadas: 1; Orientação: S -180° • N° Portas: 2 • Extração mecânica: não tem

Condições físicas médias exteriores	
☐ Temperatura: 18,61 °C ± 0,202 ☐ Velocidade média do vento - direção: 0,95 m/s ± 0,34	

Medições das condições físicas interiores:		
Equipamento	Média ± Desvio Padrão	
Data logger HOBO U12 (interior de cada compartimento)	Temperatura [°C]	20,28 °C ± 0,0542
	Humidade relativa [%]	74,07 ± 0,25
Caudal: 11,1 m³/hora	Volume: 72,2 m³	RPH: 0,1448 h⁻¹

Observações

Figura 4.17 – Exemplo da ficha de ensaio.

ENSAIO SF6										ENSAIO CO2										
Horário		Nº Enz	Taxa RPH	Veloc. média vato(m/s)	Velocidade extrap(m/s)	Direção md. vato(0° - 360°)	Temp. int. média(°C)	Temp. ext. média(°C)	Diferença 1 temp.	Horário		CO2 Logger 1	CO2 Logger 2	RPH Médio	Veloc. média(m/s)	Velocidade extrap(m/s)	Direção md. vato(0° - 360°)	Temp. int. média(°C)	Temp. ext. média(°C)	Diferença 1 temp.
Início	Fim									Início	Fim									
21/04/2016, 0.054																				
22/04/2016, 0.057																				
24/04/2016, 0.105																				
25/04/2016, 0.073																				
26/04/2016, 0.091																				
27/04/2016, 0.111																				
28/04/2016, 0.007																				
30/04/2016, 0.000																				
01/05/2016, 0.014																				
02/05/2016, 0.036																				
03/05/2016, 0.114																				
04/05/2016, 0.015																				
05/05/2016, 0.042																				
06/05/2016, 0.027																				
07/05/2016, 0.000																				
08/05/2016, 0.000																				
09/05/2016, 0.000																				
10/05/2016, 0.000																				
11/05/2016, 0.015																				
12/05/2016, 0.042																				
13/05/2016, 0.027																				
14/05/2016, 0.000																				
15/05/2016, 0.127																				
16/05/2016, 0.007																				
17/05/2016, 0.013																				
18/05/2016, 0.000																				
19/05/2016, 0.025																				
20/05/2016, 0.087																				
21/05/2016, 0.100																				
22/05/2016, 0.071																				
23/05/2016, 0.068																				
24/05/2016, 0.027																				
25/05/2016, 0.052																				
26/05/2016, 0.061																				
27/05/2016, 0.180																				
28/05/2016, 0.167																				
29/05/2016, 0.085																				
30/05/2016, 0.000																				
31/05/2016, 0.000																				
01/06/2016, 0.000																				
02/06/2016, 0.000																				
03/06/2016, 0.000																				
04/06/2016, 0.000																				
05/06/2016, 0.000																				
06/06/2016, 0.000																				
07/06/2016, 0.000																				
08/06/2016, 0.000																				
09/06/2016, 0.000																				
10/06/2016, 0.000																				
11/06/2016, 0.000																				
12/06/2016, 0.000																				
13/06/2016, 0.000																				
14/06/2016, 0.000																				
15/06/2016, 0.000																				
16/06/2016, 0.000																				
17/06/2016, 0.000																				
18/06/2016, 0.000																				
19/06/2016, 0.000																				
20/06/2016, 0.000																				
21/06/2016, 0.000																				
22/06/2016, 0.000																				
23/06/2016, 0.000																				
24/06/2016, 0.000																				
25/06/2016, 0.000																				
26/06/2016, 0.000																				
27/06/2016, 0.000																				
28/06/2016, 0.000																				
29/06/2016, 0.000																				
30/06/2016, 0.000																				
01/07/2016, 0.000																				
02/07/2016, 0.000																				
03/07/2016, 0.000																				
04/07/2016, 0.000																				
05/07/2016, 0.000																				
06/07/2016, 0.000																				
07/07/2016, 0.000																				
08/07/2016, 0.000																				
09/07/2016, 0.000																				
10/07/2016, 0.000																				
11/07/2016, 0.000																				
12/07/2016, 0.000																				
13/07/2016, 0.000																				
14/07/2016, 0.000																				
15/07/2016, 0.000																				
16/07/2016, 0.000																				
17/07/2016, 0.000																				
18/07/2016, 0.000																				
19/07/2016, 0.000																				
20/07/2016, 0.000																				
21/07/2016, 0.000																				
22/07/2016, 0.000																				
23/07/2016, 0.000																				
24/07/2016, 0.000																				
25/07/2016, 0.000																				
26/07/2016, 0.000																				
27/07/2016, 0.000																				
28/07/2016, 0.000																				
29/07/2016, 0.000																				
30/07/2016, 0.000																				
31/07/2016, 0.000																				
01/08/2016, 0.000																				
02/08/2016, 0.000																				
03/08/2016, 0.000																				
04/08/2016, 0.000																				
05/08/2016, 0.000																				
06/08/2016, 0.000																				
07/08/2016, 0.000																				
08/08/2016, 0.000																				
09/08/2016, 0.000																				
10/08/2016, 0.000																				
11/08/2016, 0.000																				
12/08/2016, 0.000																				
13/08/2016, 0.000																				
14/08/2016, 0.000																				
15/08/2016, 0.000																				
16/08/2016, 0.000																				
17/08/2016, 0.000																				
18/08/2016, 0.000																				
19/08/2016, 0.000																				
20/08/2016, 0.000																				
21/08/2016, 0.000																				
22/08/2016, 0.000																				
23/08/2016, 0.000																				
24/08/2016, 0.000																				
25/08/2016, 0.000																				
26/08/2016, 0.000																				
27/08/2016, 0.000																				
28/08/2016, 0.000																				
29/08/2016, 0.000																				
30/08/2016, 0.000																				
31/08/2016, 0.000																				
01/09/2016, 0.000																				
02/09/2016, 0.000																				
03/09/2016, 0.000																				
04/09/2016, 0.000																				
05/09/2016, 0.000																				
06/09/2016, 0.000																				
07/09/2016, 0.000																				
08/09/2016, 0.000																				
09/09/2016, 0.000																				
10/09/2016, 0.000																				
11/09/2016, 0.000																				
12/09/2016, 0.000																				
13/09/2016, 0.000																				
14/09/2016, 0.000																				
15/09/2016, 0.000																				
16/09/2016, 0.000																				
17/09/2016, 0.000																				
18/09/2016, 0.000																				
19/09/2016, 0.000																				
20/09/2016, 0.000																				
21/09/2016, 0.000																				
22/09/2016, 0.000																				
23/09/2016, 0.000																				
24/09/2016, 0.000																				
25/09/2016, 0.000																				
26/09/2016, 0.000																				
27/09/2016, 0.000																				
28/09/2016, 0.000																				
29/09/2016, 0.000																				
30/09/2016, 0.000																				
01/10/2016, 0.000																				
02/10/2016, 0.000																				
03/10/2016, 0.000																				
04/10/2016, 0.000																				
05/10/2016, 0.000																				
06/10/2016, 0.000																				
07/10/2016, 0.000																				
08/10/2016, 0.000																				
09/10/2016, 0.000																				
10/10/2016, 0.000																				
11/10/2016, 0.000																				
12/10/2016, 0.000																				
13/10/2016, 0.000																				
14/10/2016, 0.000																				
15/10/2016, 0.000																				
16/10/2016, 0.000																				
17/10/2016, 0.000																				
18/10/2016, 0.000																				
19/10/2016, 0.000																				
20/10/2016, 0.000																				
21/10/2016, 0.000																				
22/10/2016, 0.000																				
23/10/2016, 0.000																				
24/10/2016, 0.000																				
25/10/2016, 0.000																				
26/10/2016, 0.000																				
27/10/2016, 0.000																				
28/10/2016, 0.000																				
29/10/2016, 0.000																				
30/10/2016, 0.000																				
31/10/2016, 0.000																				
01/11/2016, 0.000																				
02/11/2016, 0.000																				
03/11/2016, 0.000																				
04/11/2016, 0.000																				
05/11/2016, 0.000																				
06/11/2016, 0.000																				
07/11/2016, 0.000																				
08/11/2016, 0.000																				
09/11/2016, 0.000																				
10/11/2016, 0.000																				
11/11/2016, 0.000																				
12/11/2016, 0.000																				
13/11/2016, 0.000																				
14/11/2016, 0.000																				
15/11/2016, 0.000																				
16/11/2016, 0.000																				
17/11/2016, 0.000																				
18/11/2016, 0.000																				
19/11/2016, 0.000																				
20/11/2016, 0.000																				
21/11/2016, 0.000																				
22/11/2016, 0.000																				
23/11/2016, 0.000																				
24/11/2016, 0.000																				
25/11/2016, 0.000																				
26/11/2016, 0.000																				
27/11/2016, 0.000																				
28/11/2016, 0.000																				
29/11/2016, 0.000																				
30/11/2016, 0.000																				
01/12/2016, 0.000																				
02/12/2016, 0.000																				
03/12/2016, 0.000																				
04/12/2016, 0.000																				
05/12/2016, 0.000																				
06/12/2016, 0.000																				
07/12/2016, 0.000																				
08/12/2016, 0.000																				
09/12/2016, 0.000																				
10/12/2016, 0.000																				
11/12/2016, 0.000																				
12/12/2016, 0.000																				
13/12/2016, 0.000																				
14/12/2016, 0.000																				
15/12/2016, 0.000																				
16/12/2016, 0.000																				
17/12/2016, 0.000																				
18/12/2016, 0.000																				
19/12/2016, 0.000																				
20/12/2016, 0.000																				
21/12/2016, 0.000																				
22/12/2016, 0.000																				
23/12/2016, 0.000																				
24/12/2016, 0.000																				
25/12/2016, 0.000																				
26/12/2016, 0.000																				
27/12/2016, 0.000																				
28/12/2016, 0.000																				
29/12/2016, 0.000																				
30/12/2016, 0.000																				
31/12/2016, 0.000																				
01/01/2017, 0.000																				
02/01/2017, 0.000																				
03/01/2017, 0.000																				
04/01/2017, 0.000																				
05/01/2017, 0.000																				
06/01/2017, 0.000																				
07/01/2017, 0.000																				
08/01/2017, 0.000																				
09/01/2017, 0.000																				
10/01/2017, 0.000																				
11/01/2017, 0.000																				
12/01/2017, 0.000																				
13/01/2017, 0.000																				
14/01/2017, 0.000																				
15/01/2017, 0.000																				
16/01/2017, 0.000																				
17/01/2017, 0.000																				
18/01/2017, 0.000																				
19/01/2017, 0.000																				
20/01/2017, 0.000																				
21/01/2017, 0.000																				
22/01/2017, 0.000																				
23/01/2017, 0.000																				
24/01/2017, 0.000																				
25/01/2017, 0.000																				
26/01/2017, 0.000																				
27/01/2017, 0.000																				
28/01/2017, 0.000																				
29/01/2017, 0.000																				
30/01/2017, 0.000																				
31/01/2017, 0.000																				
01/02/2017, 0.000																				
02/02/2017, 0.000																				
03/02/2017, 0.000																				
04/02/2017, 0.000																				
05/02/2017, 0.000																				
06/02/2017, 0.000																				
07/02/2017, 0.000																				
08/02/2017, 0.000																				
09/02/2017, 0.000																				
10/02/2017, 0.000																				
11/02/2017, 0.000																				
12/02/2017, 0.000																				
13/02/2017, 0.000																				
14/02/2017, 0.000																				
15/02/2017, 0.000																				
16/02/2017, 0.000																				
17/02/2017, 0.000																				
18/02/2017, 0.000																				
19/02/2017, 0.000																				
20/02/2017, 0.000																				
21/02/2017, 0.000																				
22/02/2017, 0.000																				
23/02/2017, 0.000																				
24/02/2017, 0.000																				
25/02/2017, 0.000																				
26/02/2017, 0.000																				
27/02/2017, 0.000																				
28/02/2017, 0.000																				
29/02/2017, 0.000																				
30/02/2017, 0.000																				
01/03/2017, 0.000																				
02/03/2017, 0.000																				
03/03/2017, 0.000																				
04/03/2017, 0.000																				
05/03/2017, 0.000																				
06/03/2017, 0.000																				
07/03/2017, 0.000																				
08/03/2017, 0.000																				
09/03/2017, 0.000																				
10/03/2017, 0.000																				
11/03/2017, 0.000																				
12/03/2017, 0.000																				
13/03/2017, 0.000																				
14/03/2017, 0.000																				
15/03/2017, 0.000																				
16/03/2017, 0.000																				
17/03/2017, 0.000																				
18/03/2017, 0.000																				
19/03/2017, 0.000																				
20/03/2017, 0.000																				
21/03/2017, 0.000																				
22/03/2017, 0.000																				
23/03/2017, 0.000																				
24/03/2017, 0.000																				
25/03/2017, 0.000																				
26/03/2017, 0.000																				
27/03/2017, 0.000																				
28/03/2017, 0.000																				
29/03/2017, 0.000																				
30/03/2017, 0.000																				
31/03/2017, 0.000																				
01/04/2017, 0.000																				
02/04/2017, 0.000																				
03/04/2017, 0.000																				
04/04/2017, 0.000																				
05/04/2017, 0.000																				
06/04/2017, 0.000																				
07/04/2017, 0.000																				
08/04/2017, 0.000																				
09/04/2017, 0.000																				
10/04/2017, 0.000																				
11/04/2017, 0.000																				
12/04/2017, 0.000																				
13/04/2017, 0.000																				
14/04/2017, 0.000																				
15/04/2017, 0.000																				
16/04/2017, 0.000																				
17/04/2017, 0.000																				
18/04/2017, 0.000																				
19/04/2017, 0.000																				
20/04/2017, 0.000																				
21/04/2017, 0.000																				
22/04/2017, 0.000																				
23/04/2017, 0.000																				
24/04/2017, 0.000																				
25/04/2017, 0.000																				
26/04/2017, 0.000																				
27/04/2017, 0.000																				
28/04/2017, 0.000																				
29/04/2017, 0.000																				
30/04/2017, 0.000																				
01/05/2017, 0.000																				
02/05/2017, 0.000																				
03/05/2017, 0.000																				
04/05/2017, 0.000																				
05/05/2017, 0.000																				
06/05/2017, 0.000																				
07/05/2017, 0.000																				
08/05/2017, 0.000																				
09/05/2017, 0.000																				
10/05/2017, 0.000																				
11/05/2017, 0.000																				
12/05/2017, 0.000																				
13/05/2017, 0.000																				
14/05/2017, 0.000																				
15/05/2017, 0.000																				
16/05/2017, 0.000																				
17/05/2017, 0.000																				
18/05/2017, 0.000																				
19/05/2017, 0.000																				
20/05/2017, 0.000																				
21/05/2017, 0.000																				
22/05/2017, 0.000																				
23/05/2017, 0.000																				
24/05/2017, 0.000																				
25/05/2017, 0.000																				
26/05/2017, 0.000																				
2																				

Figura 4.18 – Resumo de ensaios - Quarto PF.

ENSAIO SF6										QUARTO				ENSAIO CO2										
Horário	Nº	Data	Tapa RPH	Veloc. média vento(m/s)	Velocidade extrapolo(m/s)	Direção vento(° - 360°)	Temp. int. média(°C)	Temp. ext. média(°C)	Diferencial	Horário	CO2 Logger 1	CO2 Logger 2	RPH Médio CO2	Veloc. vento(m/s)	Velocidade extrapolo(m/s)	Direção vento(° - 360°)	Temp. int. média(°C)	Temp. ext. média(°C)	Diferencial					
Início	Fim									Início	Fim													
		22/04/2016												0.3563	0.58	0.56								
		23/04/2016												0.6020	0.64	0.62								
		26/04/2016													0.54	0.54								
		26/04/2016													0.51	0.51								
		27/04/2016													0.63	0.63								
		03/05/2016												0.1348	0.15	0.14								
19.00	20.45	12/05/2016	0.6868	0.72	1.33	114.23	13.39	16.34	3.0538															
21.00	22.30	13/05/2016	0.5527	0.36	0.67	96.32	16.54	16.21	2.3308															
16.35	17.00	13/05/2016	1.8988	0.20	0.37	51.25	19.80	16.13	2.4987															
12.23	13.40	14/05/2016	1.0312	0.38	0.71	108.09	19.70	16.44	3.2600															
10.40	14.30	15/05/2016	0.2956	0.20	0.37	112.50	16.99	19.50	-0.5091	10.00	10.20	0.3033	0.2781	0.2307	0.47	0.87	39.90	16.63	16.86	-2.0040				
00.00	02.40	16/05/2016	0.4593	0.60	1.12	120.00	19.32	16.23	1.2853															
		23/05/2016			0.00																			
12.40	12.45	24/05/2016	0.4517	0.82	1.53	213.75	20.69	17.37	3.32															
14.35	16.35	24/05/2016	0.5597	0.90	1.68	225.00	20.20	19.00	1.20															
20.47	21.22	24/05/2016	0.3331	0.02	0.04	107.50	20.82	19.00	1.83															
22.55	23.30	24/05/2016	0.4392	0.02	0.04	65.00	20.10	17.01	3.09															
01.10	01.45	25/05/2016	0.2363	0.70	0.00	67.50	20.03	16.03	3.97															
11.50	11.45	26/05/2016	1.2794	0.00	0.75	177.95	20.03	18.00	2.03															
13.20	13.50	26/05/2016	0.7118	0.75	1.07	83.21	20.40	18.84	1.56															
16.35	17.10	26/05/2016	0.4307	0.30	0.56	160.00	20.00	18.73	0.27															
20.40	21.30	27/05/2016	0.3423	0.93	1.73	230.45	20.83	19.49	1.34	07.20	11.00	0.6820	0.5468	0.6194	0.83	1.55	168.00	19.91	17.76	2.1956				
23.22	23.50	27/05/2016	0.3643	0.53	0.59	163.21	20.43	16.70	1.73															
		27/05/2016			0.00																			
12.55	13.35	28/05/2016	1.0013	1.31	2.45	163.21	20.73	18.17	2.56															
15.15	16.05	28/05/2016	0.5873	0.99	1.89	160.00	20.40	19.25	1.15															
15.50	16.30	31/05/2016	0.7151	0.42	0.77	107.31	20.95	18.72	2.23															
14.30	15.05	31/05/2016	0.3378	0.68	1.26	32.81	20.80	19.31	0.89															
22.20	23.00	01/06/2016	0.24	0.26	0.48	30.00	21.60	22.59	-0.99															
00.25	01.00	01/06/2016	0.2408	0.01	0.02	30.00	21.60	21.28	0.32															
11.10	12.50	01/06/2016	0.4077	0.57	1.07	83.31	21.97	19.76	2.22															
20.00	21.00	01/06/2016	0.2679	0.14	0.26	140.19	22.82	19.65	2.97															
13.50	15.00	01/06/2016	0.2952	0.29	0.53	144.00	22.19	20.42	1.77															
20.00	21.00	01/06/2016	0.3092	0.17	0.31	67.50	22.07	20.34	-4.20															
		06/06/2016																						
		07/06/2016								10.54	16.30	0.2252	0.2487	0.2370	0.57	1.06	156.71	23.56	22.00	1.56				
		08/06/2016								10.10	13.00	0.1806	0.1891	0.1753	0.39	0.72	86.79	23.01	20.33	2.68				
		11/06/2016								13.50	16.30	0.1265	0.1603	0.1384	0.61	1.25	106.86	22.75	20.66	2.09				
		12/06/2016								13.37	16.00	0.3008	0.2802	0.2905	0.50	1.04	120.75	23.85	21.88	1.97				
		13/06/2016								15.00	16.30	0.1328	0.1195	0.1199	0.47	0.88	100.99	23.66	21.85	1.81				
		13/06/2016								22.00	16.00	0.0940	0.0936	0.0937	0.31	0.61	104.40	23.38	20.09	3.29				
		14/06/2016								19.10	16.30	0.1361	0.3355	0.3356	1.11	1.93	89.11	23.00	20.30	3.35				
		14/06/2016								22.45	00.47	0.1476	0.1342	0.1402	0.40	0.18	105.83	22.73	17.32	4.81				
		15/06/2016								14.29	16.44	0.3628	0.3176	0.3409	0.54	1.01	91.61	22.31	16.43	3.82				
		16/06/2016								00.27	01.30	0.1432	0.1409	0.1409	0.20	0.37	102.13	22.98	16.30	5.46				
		16/06/2016								13.00	19.00	0.2326	0.2120	0.2223	0.62	1.15	113.42	22.17	19.80	2.37				
Média:	0.530	0.468				143.647	20.498	18.938	0.284	0.328	0.333	0.648				143.950	18.272	18.206						
DP:	0.235	0.375				56.310	0.790	2.116	0.165	0.139	0.203	0.129				0.000	0.000	0.000						
Caudal mé	36.25								20.523	23.681														

Figura 4.19 – Resumo de ensaios - Quarto PA.

Figura 4.20 – Resumo de ensaios - Sala PF.

Figura 4.21 – Resumo de ensaios - Sala PA.

5

DISCUSSÃO

5.1. RPH(CO₂) VS RPH(SF₆)

5.1.1. SALA – PORTAS FECHADAS

Relativamente ao número de ensaios com portas fechadas na sala, foram realizados 39 ensaios com SF₆, e 28 medições de CO₂, perfazendo um total de 67 ensaios para esta condição fronteira na divisão da sala. Relativamente ao desvio-padrão dos métodos de avaliação utilizados, estes encontram-se representados no quadro 5.1. Nesta divisão, as médias da taxa de ventilação pelo ensaio com hexafluoreto de enxofre (SF₆) e pela medição de dióxido de carbono (CO₂) são bastante semelhantes, como se pode verificar pela figura 5.1.

Quadro 5.1 – Sala com portas fechadas

Tipo de Ensaio	Taxa média rph ± Desvio-padrão	Caudal médio (m ³ /h)
SF ₆	0,080±0,031	6,736
CO ₂	0,074±0,024	6,218

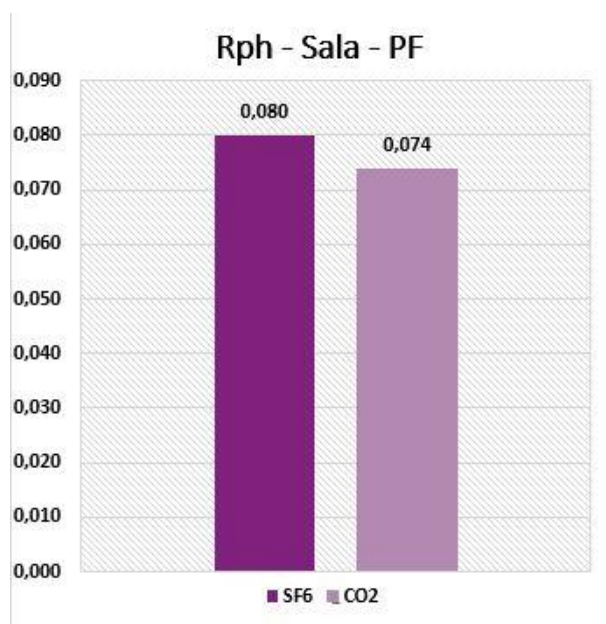


Fig.5.1 – Comparação das taxas de Rph médias pelos dois métodos na sala e com portas fechadas.

Analisando os resultados anteriores é possível concluir que as avaliações das taxas de ventilação pelos dois métodos são muito homogéneas, apresentando valores de desvio-padrão praticamente iguais, de 0,024 e 0,031 rph^{-1} , e valores de caudais médios também muito próximos. Analisando a taxa de ventilação verificada neste compartimento, pode concluir-se que não se cumpre o requisito mínimo de 0,40 renovações horárias estabelecido pelo REH. Efetivamente o valor obtido é bastante reduzido uma vez que não existe qualquer dispositivo específico de admissão de ar pela envolvente exterior.

5.1.2. SALA – PORTAS ABERTAS

Na sala e com as portas abertas foram realizados 47 ensaios, 27 com SF_6 , e 20 utilizando o CO_2 como gás traçador. Neste tipo de ensaio, com portas abertas deve ter-se em conta que no caso da sala, foram abertas duas portas, permanecendo todos os outros restantes elementos, como portadas ou janelas, permanentemente fechadas. O Quadro 5.2 e a Figura 5.4 sintetizam e ilustram os resultados obtidos a partir da aplicação das duas metodologias.

Quadro 5.2 – Sala com portas abertas

Tipo de Ensaio	Taxa média $\text{rph} \pm \text{Desvio-padrão}$	Caudal médio (m^3/h)
SF_6	0,98 \pm 0,289	82,960
CO_2	0,166 \pm 0,068	14,057

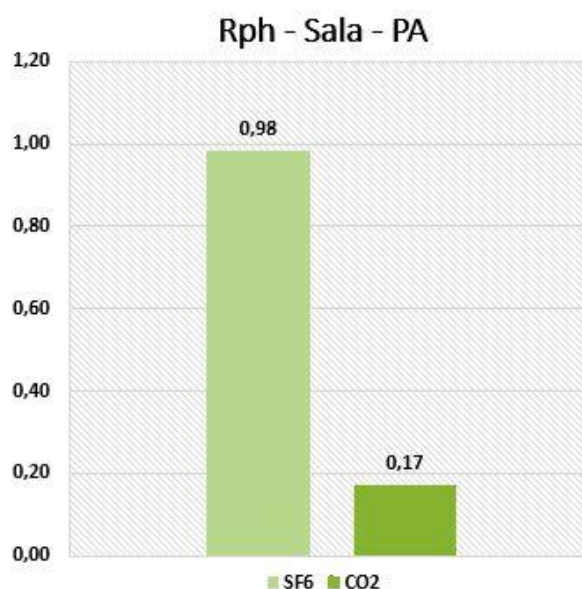


Fig.5.2 – Comparação das taxas Rph médias nos dois métodos na divisão da sala com portas abertas.

De forma surpreendente, e contrariamente ao que ocorreu no ensaio com porta fechada, os resultados obtidos na situação de porta aberta não são coerentes. Efetivamente, o valor da taxa de ventilação obtido a partir dos ensaios com o SF₆ é claramente superior ao obtido a partir do ensaio com recurso à medição em contínuo do CO₂.

Uma vez que o ensaio com SF₆ decorre em condições mais controladas, ao contrário do que acontece com a avaliação da taxa de ventilação a partir da medição em contínuo do CO₂ em que é necessário controlar a presença ou não de pessoas no local onde está a decorrer ensaio, considera-se que o valor obtido a partir destes ensaios é mais credível. Adicionalmente, a própria ordem de grandeza está mais em linha com trabalhos de outros autores.

Algumas das possíveis razões para explicar o resultado obtido a partir da medição em contínuo da concentração de CO₂ são: a dificuldade em controlar as condições fronteira, uma vez que foram aproveitados os períodos noturnos e usada a informação recolhida através das folhas de presença, podendo existir algum lapso no seu preenchimento; a possível contaminação do ar a partir dos compartimentos adjacentes, uma vez que, ao contrário do que acontece com o caso do SF₆, existe produção de CO₂ noutros compartimentos, devido à presença de pessoas; o valor de pico da concentração de CO₂ não ser suficientemente elevado para a aplicação da técnica do declive; e, por fim, alguma falha no procedimento de escolha dos períodos para a aplicação da técnica do declive.

No quadro 5.2, pode ainda analisar-se a variabilidade dos dois métodos, sendo que o desvio-padrão do ensaio com SF₆ é cerca de 0,289 rph e o desvio padrão do ensaio com CO₂ de 0,068 rph, existindo, portanto, uma maior variabilidade associada ao ensaio com SF₆.

5.1.3. QUARTO – PORTAS FECHADAS

No quarto, foram efetuados 63 ensaios com portas fechadas, sendo 23 pela medição em contínuo de CO₂ e os restantes 40 pelo método com SF₆. O quadro 5.3 apresenta os caudais médios, as médias de ventilação e os respetivos desvios-padrão resultantes de cada tipo de ensaio. A Figura 5.3 representa graficamente os resultados.

Quadro 5.3 – Quarto com porta fechada

Tipo de Ensaio	Taxa média rph ± Desvio-padrão	Caudal médio (m ³ /h)
SF ₆	0,097±0,044	7,0371
CO ₂	0,116±0,066	8,398

Neste caso, tal como havia acontecido no cenário com porta fechada na sala, os ensaios apresentam taxas de ventilação semelhantes, sendo que o ensaio com SF₆ possui o desvio-padrão ligeiramente menor, correspondendo, portanto, ao método com menor variabilidade.

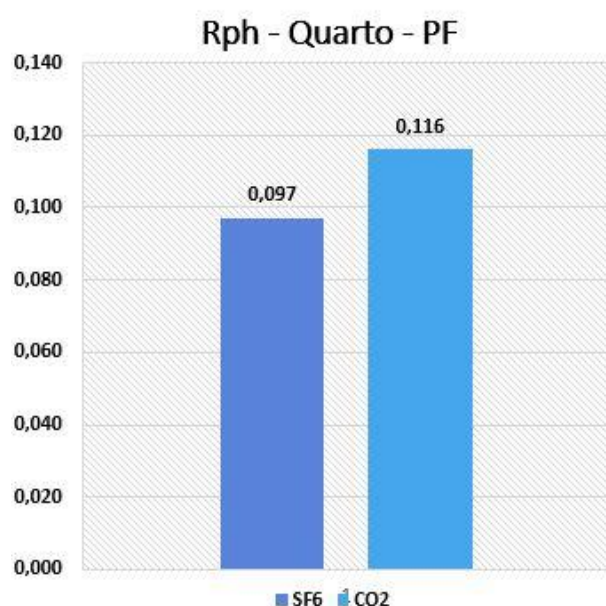


Fig.5.3 – Comparação das taxas RPH médias nos dois métodos na divisão do quarto com portas fechadas

Os valores obtidos são próximos dos registados na sala nas mesmas condições e inferiores às recomendações normativas. Tal como acontece na sala, o quarto não dispõe de qualquer dispositivo específico para a admissão de ar, pelo que os valores obtidos correspondem a uma taxa de infiltração não controlada.

5.1.4. QUARTO – PORTAS ABERTAS

No quarto, foram efetuados 45 ensaios com portas abertas, sendo 19 pela medição em contínuo de CO₂ e os restantes 26 pelo método com SF₆.

O Quadro 5.4 e a Figura 5.4 sintetizam e ilustram os resultados obtidos a partir da aplicação das duas metodologias.

Quadro 5.4 – Quarto com porta aberta

Tipo de Ensaio	Taxa média rph ± Desvio-padrão	Caudal médio(m ³ /h)
SF ₆	0,530±0,295	38,255
CO ₂	0,333±0,209	24,035

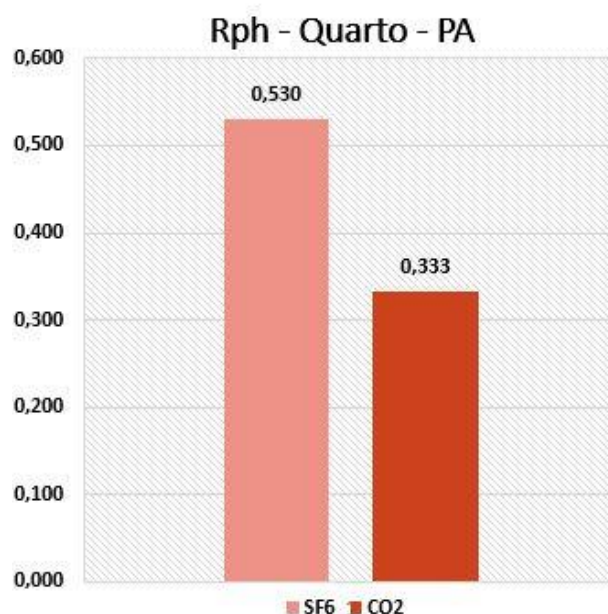


Fig.5.4 – Comparação das taxas RPH médias nos dois métodos na divisão do quarto com portas abertas

Os resultados obtidos neste cenário confirmam os resultados obtidos a partir de cada um dos métodos tendem a divergir com a abertura da porta. Efetivamente, o resultado médio obtido pelos ensaios com SF₆ é aproximadamente o dobro do obtido a partir do registo em contínuo da concentração de CO₂, 0,530 e 0,333 h⁻¹, respetivamente.

A diferença entre os resultados não é tão significativa como a ocorrida nos ensaios na sala com porta aberta, o que pode indiciar a existência de alguma falha na seleção dos instantes de medição nos ensaios da sala. Desta forma, a diferença registada no quarto resultaria essencialmente da produção de CO₂ nos outros compartimentos da casa, cujo efeito não é contabilizado na metodologia, e que pode contaminar o ar do espaço em estudo.

Por fim, salienta-se que o desvio padrão dos ensaios com SF₆ foi superior, confirmando o que havia sucedido na sala com porta aberta, correspondendo a uma maior variabilidade deste ensaio.

Comparando os ensaios de porta aberta com os de porta fechada verifica-se que, como seria expectável, a variabilidade dos primeiros é superior (coeficiente de variação mais alto).

5.2. RPH (CO₂) VS RPH (SF₆) VS CONDIÇÕES EXTERIORES

5.2.1 VELOCIDADE DO VENTO

Com o intuito de se analisar a correlação entre as grandezas da velocidade do vento e taxa de ventilação rph, foram elaborados gráficos de correlação linear demonstrados nas figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8. Este coeficiente de determinação, R^2 , permite medir a qualidade do ajustamento da linha de regressão.

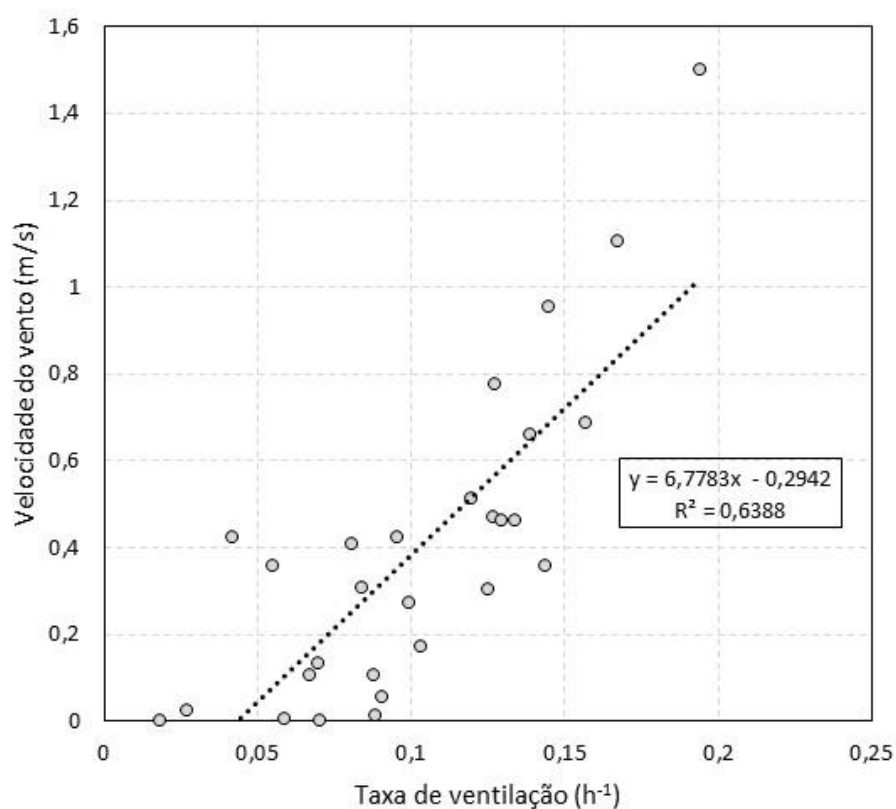


Fig.5.5 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – quarto com porta fechada

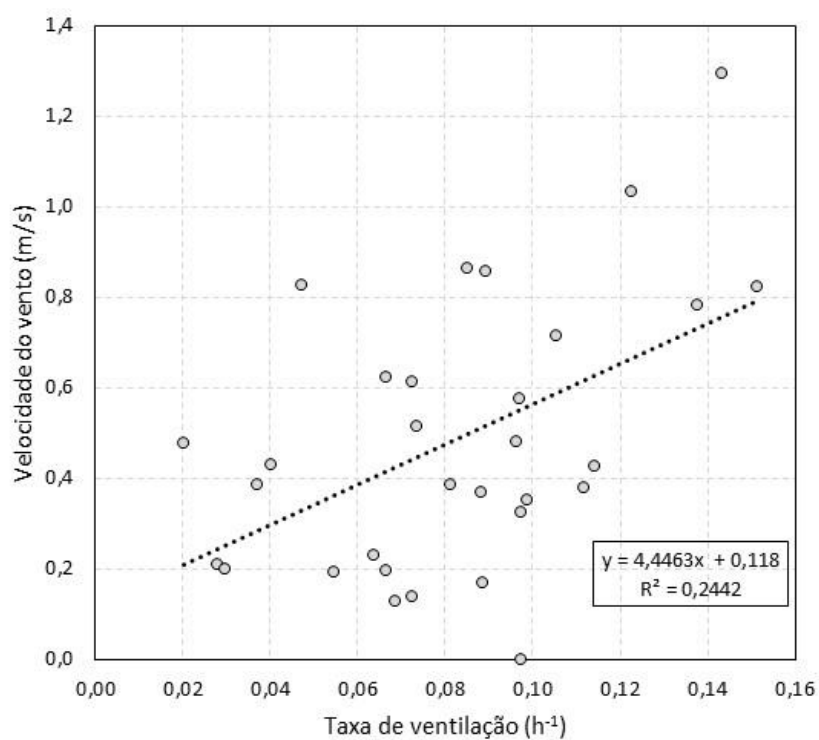


Fig.5.6 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – sala com porta fechada

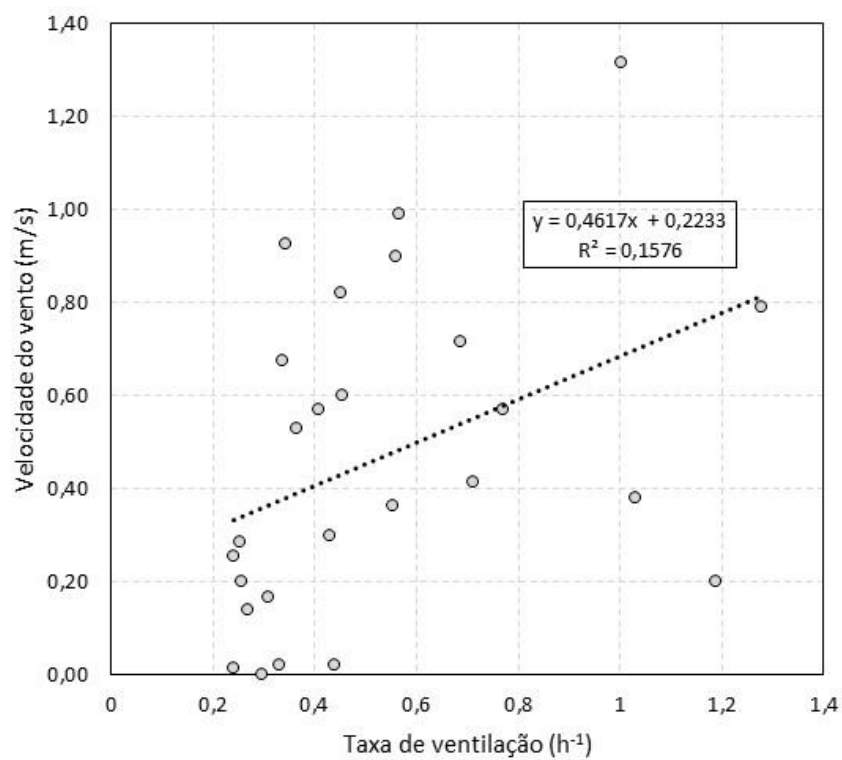


Fig.5.7 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – quarto com porta aberta

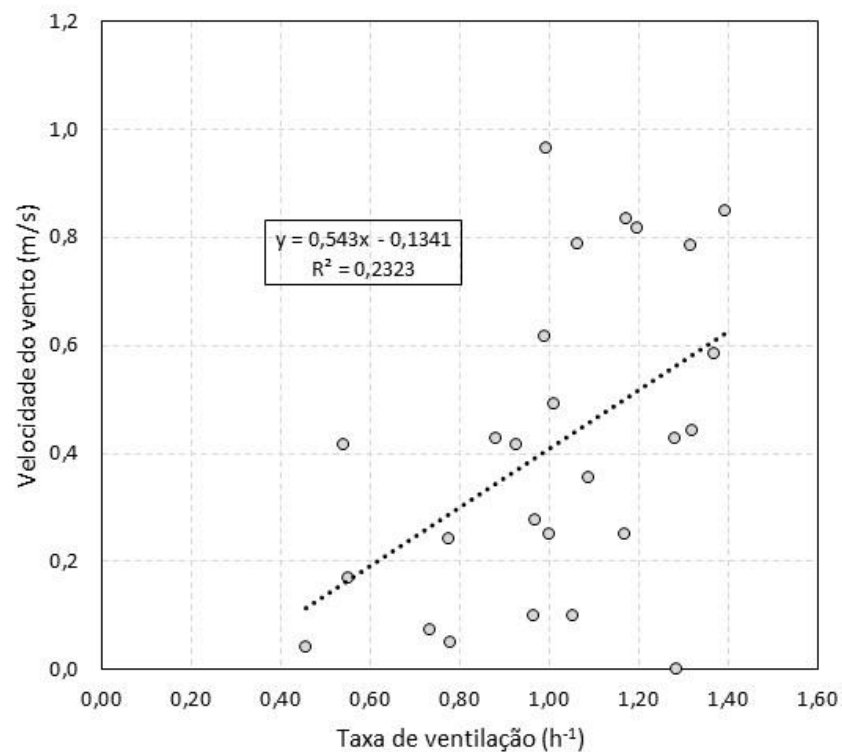


Fig.5.8 – Taxa de ventilação versus velocidade do vento – sala com porta aberta

Verifica-se uma relação de proporcionalidade entre a velocidade do vento e taxa de ventilação Rph. Essa relação foi bastante forte no ensaio no quarto com porta fechada ($R^2 = 0,64$);

Adicionalmente foram elaborados, para o caso da sala, gráficos cronológicos que relacionam os valores de Rph obtidos experimentalmente com a velocidade do vento representados pelas figura 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12.

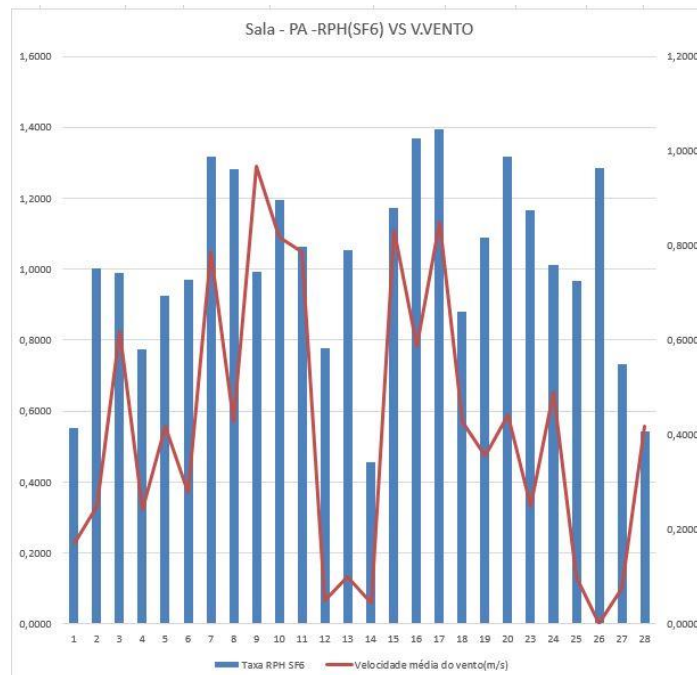


Fig.5.9 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do SF₆ e na sala com portas abertas

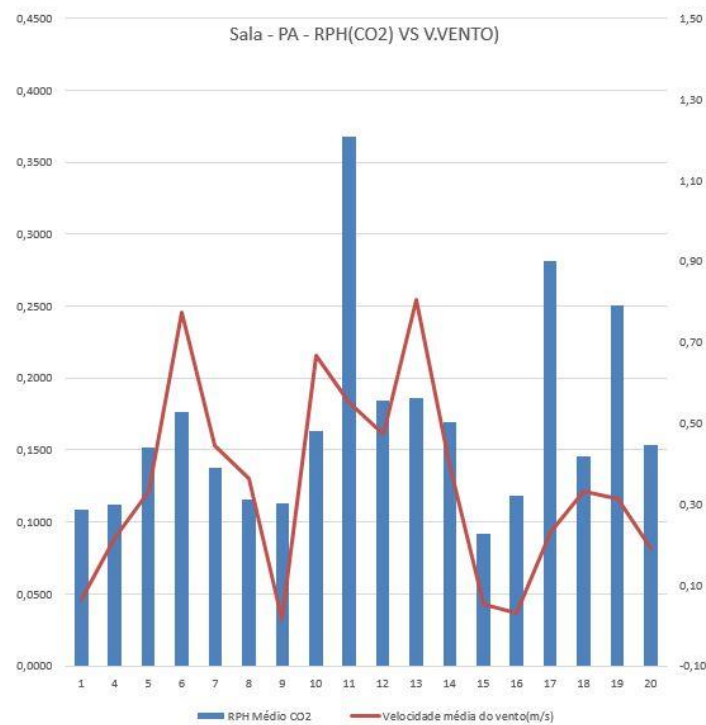


Fig.5.10 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do CO₂ na sala com portas abertas

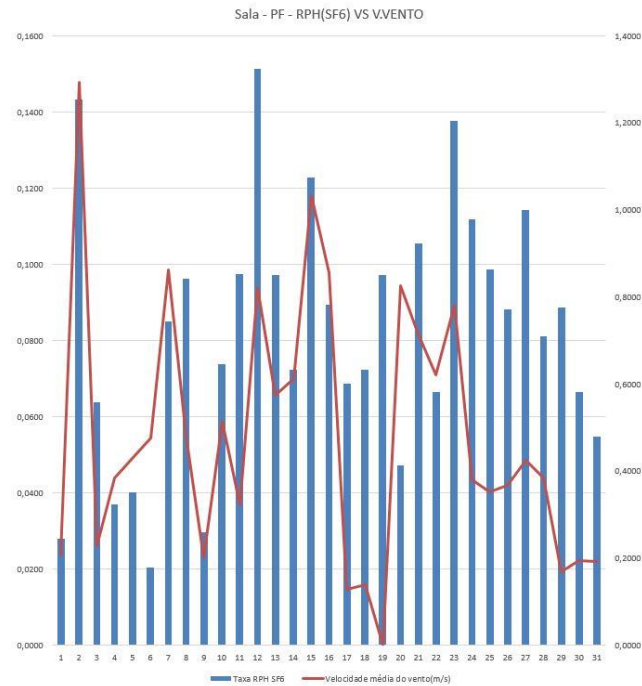


Fig.5.11 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do SF₆ na sala com portas fechadas

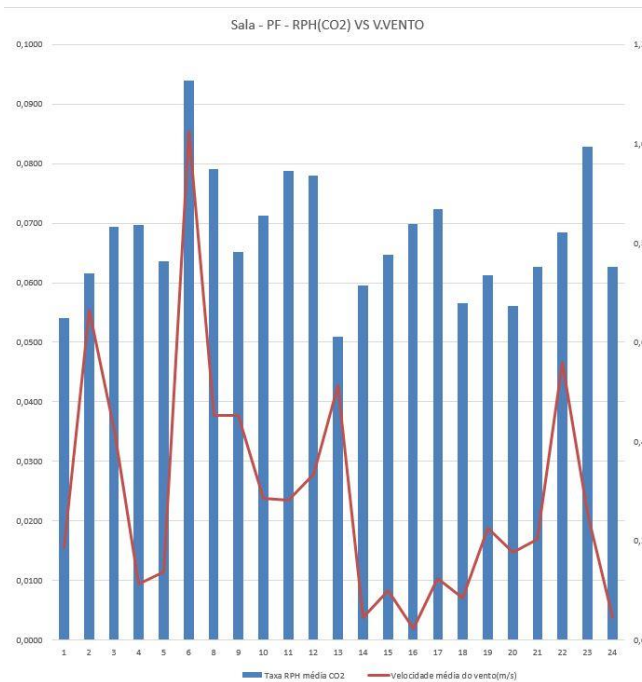


Fig.5.12 – Comparação das taxas RPH médias diárias com o método do CO₂ na sala com portas fechadas

Pela observação dos gráficos verifica-se efetivamente que existe uma relação direta entre a velocidade do vento e a taxa Rph. Algumas incoerências verificadas justificam-se pela multiplicidade de variáveis que poderão afetar o resultado final, nomeadamente a circulação normal das pessoas que poderão alterar as condições fronteira inadvertidamente.

5.2.2 DIFERENÇA DE TEMPERATURA

Para o caso do efeito chaminé, procedeu-se à elaboração de gráficos de correlação para verificar a influência do diferencial térmico (entre as temperaturas interior e exterior) sobre a taxa de renovação horária rph. As figuras 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16 representam essas correlações, apresentando o coeficiente de determinação R^2 que permite aferir se a correlação é forte ou não.

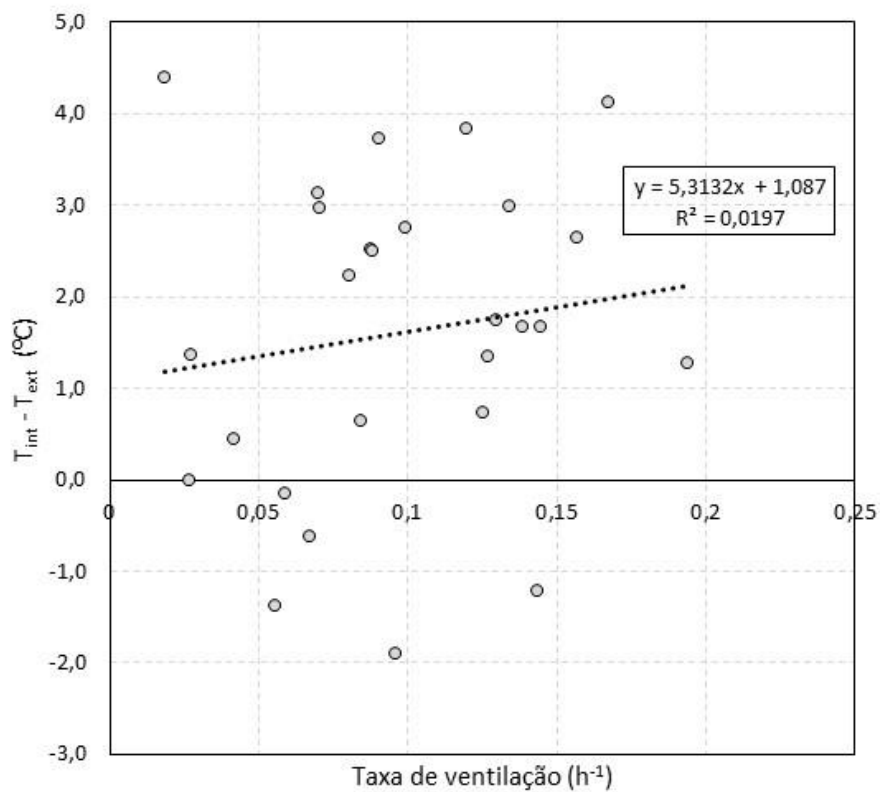


Fig.5.13 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – quarto com porta fechada

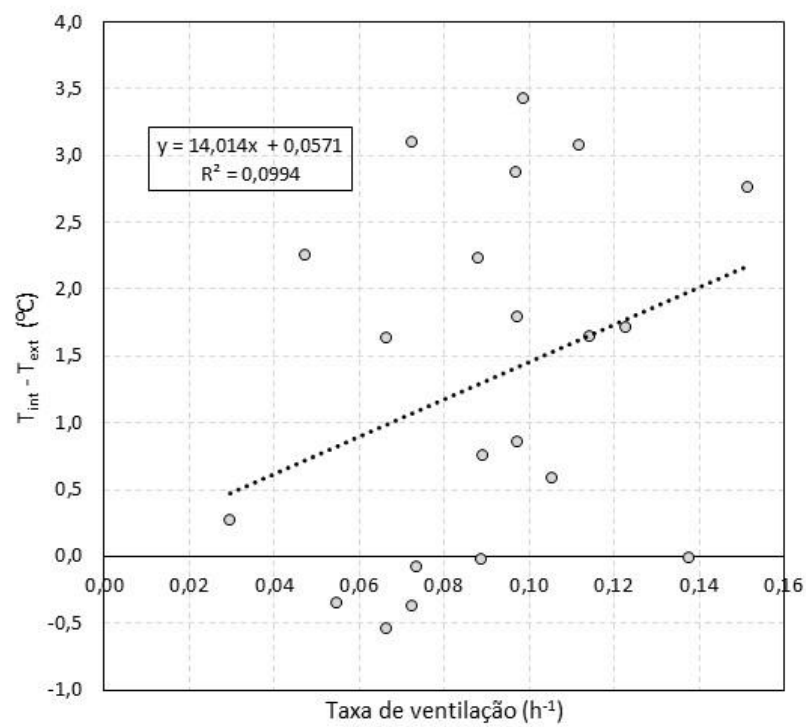


Fig.5.14 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – sala com portas fechadas

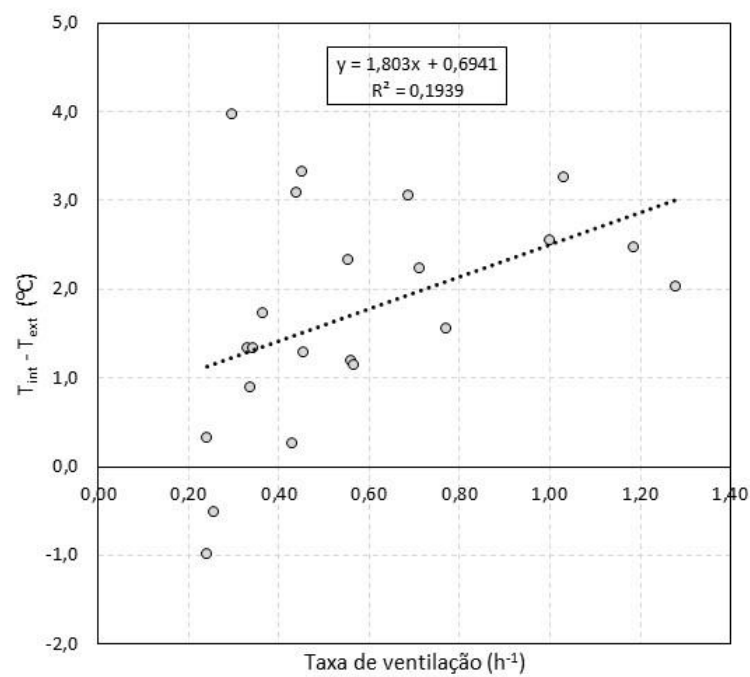


Fig.5.15 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – quarto com porta aberta

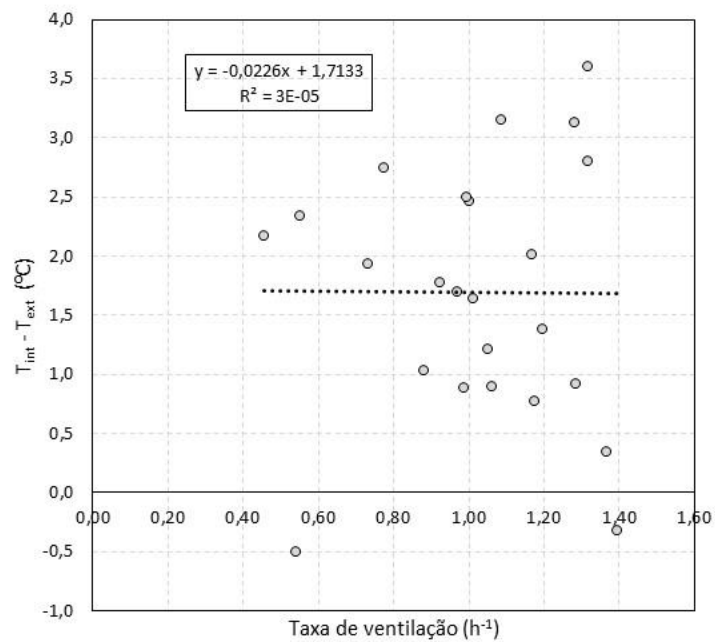


Fig.5.16 – Taxa de ventilação versus diferencial térmico – sala com portas abertas

De forma esperada, conclui-se que para o período de medições, o efeito da diferença de temperatura é menos preponderante que o efeito da ação do vento em relação à taxa de ventilação, uma vez que nestes testes de correlação não existe uma forte correlação provida de significado.

Além disso, verifica-se que o gradiente térmico é relativamente reduzido pelo facto das medições terem ocorrido na estação da Primavera, pois poucas vezes ultrapassa os 3°C .

6

CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

A presente dissertação teve uma forte componente experimental e constituiu uma excelente oportunidade para aprofundar os conhecimentos sobre a ventilação numa habitação e ainda tomar consciência sobre os problemas reais que afetam a saúde humana diariamente nas habitações.

O estudo foi efetuado para uma situação específica de uma habitação e teve por base dois compartimentos de maior permanência de pessoas: a sala, durante o dia e o quarto, durante a noite. Noutras situações os resultados poderiam ser diferentes em função das suas características de localização, de tipologia de habitação e de respetiva utilização.

As conclusões principais desta dissertação são as seguintes:

- A técnica do declive ou decaimento da concentração é adequada para obter as taxas de ventilação pela sua simplicidade;
- Os resultados obtidos experimentalmente para a taxa de ventilação rph variam sobretudo com os valores da velocidade do vento;
- O diferencial de temperatura (efeito térmico) não influencia significativamente a taxa de ventilação.
- Os valores máximos para a taxa de ventilação foram $1,28 \text{ h}^{-1}$ para o quarto e $1,46 \text{ h}^{-1}$ para a sala em situação de porta aberta e com o método de SF_6 ;
- Os valores mínimos para a taxa de ventilação foram $0,0186 \text{ h}^{-1}$ para o quarto e $0,0203 \text{ h}^{-1}$ para a sala em situação de porta fechada e com o método de SF_6 ;
- Desta forma conclui-se que pelo método do SF_6 foram atingidos os valores extremos.
- Os valores médios de rph são inferiores ao valor regulamentar de $0,40 \text{ h}^{-1}$ para os ensaios com portas fechadas, o que é explicável pela construção ser recente e por isso ter elevada estanquidade.
- Os valores médios de rph cumprem o valor regulamentar para o ensaio SF_6 na sala com portas abertas.
- Para as situações com portas fechadas os valores de rph são muito baixos para os dois compartimentos e para os dois métodos.
- Devido ao efeito chaminé o quarto recebe ar proveniente dos pisos inferiores carregado com dióxido de carbono, o que afeta a concentração de CO_2 nos ensaios;

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.2.1. PROPOSTAS DE MELHORIA DA HABITAÇÃO EM ESTUDO

De forma a aumentar a taxa de renovação do ar propõem-se as seguintes ações de melhoria:

- Abertura de janelas e portas interiores com maior regularidade;
- Colocação de grelhas de ventilação autorreguláveis ao nível dos pisos, especialmente na sala para permitir entrada contínua de ar.
- Colocação de uma grelha autorregulável no nível superior da caixa de escadas que permita a saída do ar e consequente aumento da eficiência do efeito chaminé e contribuindo para uma melhoria da ventilação do quarto.

6.2.2. DESENVOLVIMENTOS GERAIS

Após a conclusão do trabalho, surgiu a necessidade de desenvolvimento deste tema em outras ações futuras, nomeadamente:

- Realização de ensaios de forma integral (todas as divisões) para permitir analisar os fluxos de ar reais na habitação enquadrando todos os sistemas de ventilação;
- Definição de uma certificação credível do sistema de ventilação para as habitações;
- Proposta de um método simplificado para avaliação da taxa de renovação de ar;
- Proposta de avaliações periódicas dos sistemas de ventilação nas habitações;
- Realizar este tipo de trabalho no período do Inverno para poder estudar o contributo do efeito de chaminé na taxa de ventilação.

A abertura de janelas nas habitações é um hábito em decadência. Tal acontece não só por questões de segurança e de ruído que motivam o fecho de janelas, mas também pela crescente poluição do ar exterior, nomeadamente a existência de pólen, poeiras, fumos e maus odores especialmente em zonas urbanas. Esta situação implicará no futuro uma maior procura de sistemas mecânicos de ventilação centralizados eficientes com filtro de ar e recuperador de calor em linha com a eficiência energética.

Tal como já acontece com a certificação energética, que pela via regulamentar verifica-se uma crescente preocupação e sensibilização para com este tema, também para a ventilação será possível melhorar a qualidade do ar interior com benefícios imediatos para a saúde e higiene das pessoas.


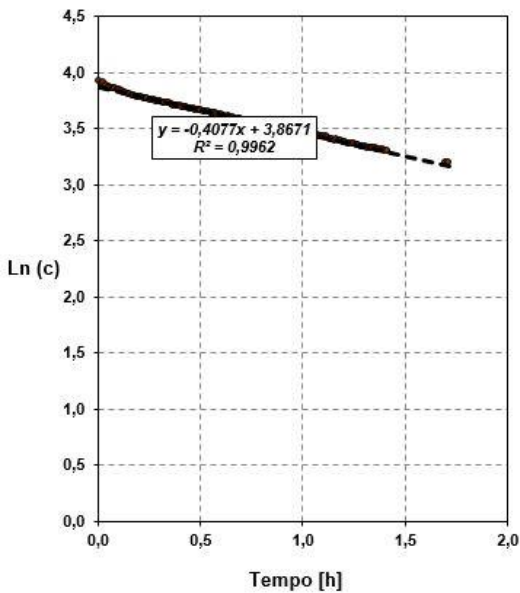
BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/ee-europa-> ; Junho -2016
- [2] Silva, G. V. A. - *Estudo de emissões de COVs por materiais usados em interiores de edifícios*. Porto: FCUP. Porto: 2000. Tese de Doutoramento.
- [3] Ferreira, P., *Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios: Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de Ventilação Inovativos* . Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.
- [4] ISO 12569 (2012). *Thermal performance of buildings and materials – Determination of specific airflow rate in buildings – Tracer gas dilution method*. International Organization for Standardization, Genebra, Suíça.
- [5] Ribeiro, R., *A sustentabilidade em hospitais*, Dissertação de Mestrado, IST, 2010
- [6] Sobreira, C. *Avaliação do desempenho da ventilação natural em lares de idosos*. Dissertação de Mestrado, FCT, 2015
- [7] Santos, J., *Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir*. Dissertação de Mestrado, FCT, 2008.
- [8] <http://www.riorenovavel.com/efficient-design/ventilation-airflow> ; Junho - 2016
- [9] Silva, Fernando S. *Ações que promovem a ventilação natural. Ambiente em Edifícios Urbano*, LNEC. Lisboa, 2000.
- [10] Amaral, M., *Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2008.
- [11] <http://www.instruel.pt/pdf/ventilacao.pdf> ; Maio – 2016
- [12] <http://www.decflex.com/engine.php?cat=591> ; Maio – 2016
- [13] Pereira, M. *Recomendações para o Projecto de Sistemas de Ventilação Mista em Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2013
- [14] <http://www.climaconforto.pt> ; Maio -2016
- [15] http://www.climasado.pt/abrir/_permutadores_de_calor ; Junho - 2016
- [16] <http://www.tratamentodear.com/Poluicao-Ar.html> ; Maio – 2016
- [17] Pinto, M.; Viegas, J.; Freitas, V. *Qualidade do ambiente interior em Edifícios de Habitação*. Engenharia e Vida, Setembro/2007
- [18] Associação Portuguesa da Engenharia do Ambiente - <http://www.apea.pt> ; Maio - 2016.
- [19] ASHRAE - *American Society for Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers Handbook of Fundamentals*. Atlanta, ASHRAE, Capítulo N° 23, 2009
- [20] ASTM E 741-00(2000). *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*. American Society for Testing Materials, West Conshocken, United States of America
- [21] Almeida, R. *(Avaliação do desempenho higrotérmico do parque escolar reabilitado)*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2011
- [22] INNOVA (1997), 1312 *Photoacoustic Multi-gas Monitor Instruction Manual*.

- [23] REHVA *European HVAC Journal*, Volume 50, Janeiro de 2013.
- [24] Bedford, T. *Basic Principles of ventilation and heating*. H.K. Lewis, Londres, 1974
- [25] Brelih, N. *Projeto de sistemas de ventilação e ar-condicionado energeticamente eficientes*. REHVA, 2013, Lisboa.
- [26] Couto, P. *Avaliação In Situ dos Sistemas de Ventilação e da Estanquidade de um Edifício de Habitação*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [27] Ferreira, P., *Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios: Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de Ventilação Inovativos*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006
- [28] Bárbara Cruchinho, A. *Avaliação dos Sistemas de Ventilação Implementados em Diferentes Edifícios*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [29] NP 1037-1: 2002; Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural. Lisboa: IPQ
- [30] <https://www.lumasenseinc.com>; Maio – 2016
- [31] Ferreira, P., *Caudais de ventilação recomendados para edifícios residenciais. Impacto ao Nível do Conforto Térmico e do Consumo de Energia para Aquecimento*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2004.
- [32] Lagus, P. *Air leakage measurements by the tracer gas dilution method – a review – 1980*
- [33] Barros, R., *Avaliação dos sistemas de ventilação implementados em diferentes edifícios*, Tese de Mestrado, FEUP, 2015
- [34] Amorim, D. *Otimização das condições de ventilação natural em edifícios de serviço para assegurar a qualidade do ar interior sem consumos excessivos de energia*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.
- [35] Couto, P. *Avaliação In Situ dos Sistemas de Ventilação e da Estanquidade de um Edifício de Habitação*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [36] Chiarello, J. *Ventilação natural por efeito chaminé- estudo em modelo reduzido de pavilhões industriais*. Tese de doutoramento, UFS, 2003
- [37] Parreiral, A. *Caracterização da Qualidade do Ambiente Interior num Edifício Escolar Recentemente Requalificado*. Dissertação de Mestrado, FCTUC, 2011.
- [38] Norma Portuguesa NP 1037-3: 2002, *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 3: Volume dos locais. Posicionamento dos aparelhos*. Lisboa: IPQ.
- [39] Sherman, Max H. *Tracer-Gas Techniques for measuring ventilation in a single zone*. Volume 25, Reino Unido – 1990
- [40] Silva, S. *Ações que promovem a ventilação natural. Ambiente em Edifícios Urbano*, LNEC. Lisboa, 2000.

ANEXOS

Ficha de Ensaio Determinação de caudais de ventilação numa habitação para condições de serviço	Código de referência do Ensaio: (SF₆-PF)
Divisão em estudo: Quarto	Data:13/06/2016


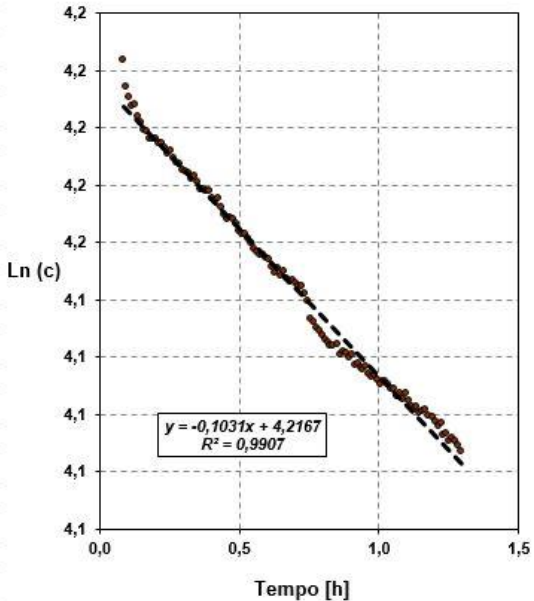
Fotografia da divisão em estudo:	Gráfico:
	
Referências Normativas:	Características da divisão em estudo
<ul style="list-style-type: none"> • ISO 12569 (2012) • ASTM E741-00 (2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pé-direito médio:2,20m • Área: 33m² • N° Portadas: 1; Orientação: S -180° • N° Portas: 2 • Extração mecânica: não tem

Condições físicas médias exteriores
<input type="checkbox"/> Temperatura: 19,75 °C ± 0,2382 <input type="checkbox"/> Velocidade média do vento - direção: 0,57 m/s ± 0,3057

Medições das condições físicas interiores:		
Equipamento		
Data logger HOBO U12 (interior de cada compartimento)	Temperatura [°C]	Média ± Desvio Padrão 21,97 °C ±0,1084
	Humidade relativa [%]	76±0,05
Caudal: 29,4 m³/hora	Volume: 72,2 m³	RPH: 0,4077 h⁻¹

Observações

Ficha de Ensaio Determinação de caudais de ventilação numa habitação para condições de serviço	Código de referência do Ensaio: (SF₆-PF)
Divisão em estudo: Quarto	Data:14/06/2016


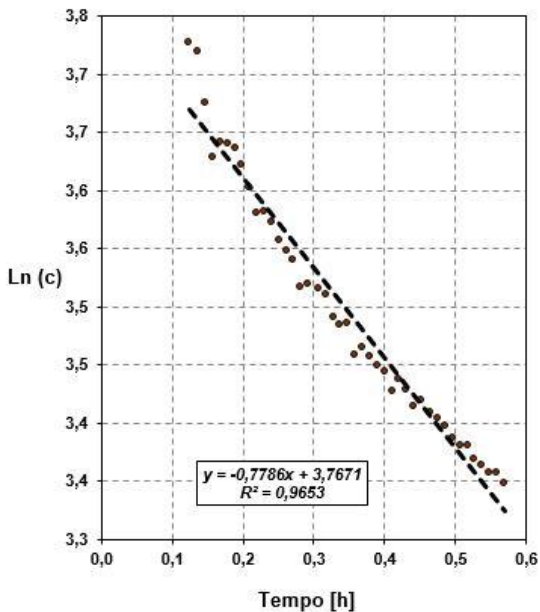
Fotografia da divisão em estudo:	Gráfico:
	
Referências Normativas:	Características da divisão em estudo
<ul style="list-style-type: none"> • ISO 12569 (2012) • ASTM E741-00 (2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pé-direito médio: 2,20m • Área: 33m² • N° Portadas: 1; Orientação: S -180° • N° Portas: 2 • Extração mecânica: não tem

Condições físicas médias exteriores
<input type="checkbox"/> Temperatura: 22,00 °C ± 0,00 <input type="checkbox"/> Velocidade média do vento - direção: 0,173 m/s ± 0,2016 - 108°

Medições das condições físicas interiores:		
Equipamento		
Data logger HOBO U12 (interior de cada compartimento)		Média ± Desvio Padrão
	Temperatura [°C]	20,28 °C ±0,0542
	Humidade relativa [%]	77,4±0,0
Caudal: 7,4 m³/hora	Volume: 72,2 m³	RPH: 0,1031 h⁻¹

Observações

Ficha de Ensaio Determinação de caudais de ventilação numa habitação para condições de serviço	Código de referência do Ensaio: (SF₆-PA)
Divisão em estudo: Sala	Data:26/05/2016


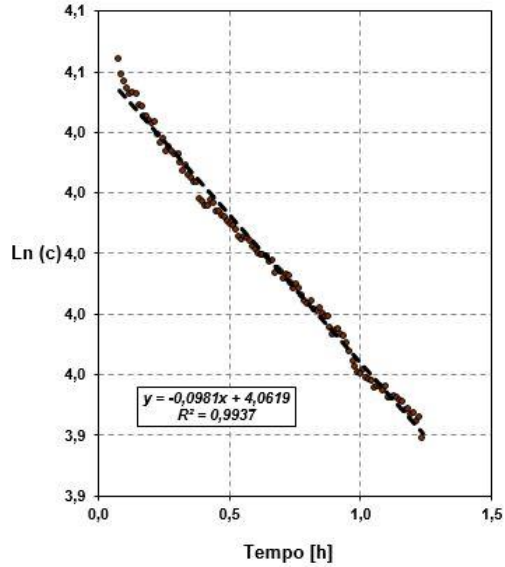
Fotografia da divisão em estudo:	Gráfico:
	
Referências Normativas:	Características da divisão em estudo
<ul style="list-style-type: none"> • ISO 12569 (2012) • ASTM E741-00 (2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pé-direito médio:2,45m • Área: 35 m² • N° Portadas: 1; Orientação: S -180° • N° Portas: 2 • Extração mecânica: não tem

Condições físicas médias exteriores
<input type="checkbox"/> Temperatura: 20,10 °C ± 0,12 <input type="checkbox"/> Velocidade média do vento - direção: 0,05 m/s ± 0,0707 - 140,625°

Medições das condições físicas interiores:		
Equipamento		
Data logger HOBO U12 (interior de cada compartimento)	Temperatura [°C]	Média ± Desvio Padrão 21,97 °C ±0,1084
	Humidade relativa [%]	74±0,00
Caudal: 65,8 m³/hora	Volume: 84,5 m³	RPH: 0,7786 h⁻¹

Observações

Ficha de Ensaio Determinação de caudais de ventilação numa habitação para condições de serviço	Código de referência do Ensaio: (SF₆-PF)
Divisão em estudo: Sala	Data:28/05/2016

Fotografia da divisão em estudo:	Gráfico:
	
Referências Normativas:	Características da divisão em estudo
<ul style="list-style-type: none"> • ISO 12569 (2012) • ASTM E741-00 (2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pé-direito médio:2,20m • Área: 33m² • N° Portadas: 1; Orientação: S -180° • N° Portas: 2 • Extração mecânica: não tem

Condições físicas médias exteriores
<input type="checkbox"/> Temperatura: 16,92 °C ± 0,0807 <input type="checkbox"/> Velocidade média do vento - direção: 0,353 m/s ± 0,254

Medições das condições físicas interiores:		
Equipamento		
Data logger HOBO U12 (interior de cada compartimento)		Média ± Desvio Padrão
	Temperatura [°C]	20,347 °C ±0,049
	Humidade relativa [%]	76,0±0,0
Caudal: 7,1 m³/hora	Volume: 84,5 m³	RPH: 0,0981 h⁻¹

Observações

Média :	0,097	0,386		133,923	20,431	19,347		0,118	0,115	0,116	0,389			130,207	22,377	20,209
DP :	0,044	0,353		54,087	0,804	3,004		0,069	0,065	0,066	0,174			34,591	1,202	1,893
Caudal méd.:	7,03751							8,543	8,309	8,398						

MAX	0,32
MIN	0,04

Material da Caixilharia da Sala e Quarto:	
Alumínio termolacado com envidraçado duplo	

0	N	0
22,5	NNE	22,5
45	NE	45
67,5	ENE	67,5
90	E	90
112,5	ESSE	FALSO
135	SE	135
157,5	SSE	157,5
180	S	180
202,2	SSW	202,5
225	SW	225
247,5	WSW	247,5
270	W	270
292,5	WNW	292,5
315	NW	315
337,5	NNW	337,5

Média :	0,080	0,483	153,331	20,390	19,563			0,074	0,074	0,074	0,310	114,217	20,255	17,282
DP :	0,031	0,276	53,047	0,543	2,311			0,030	0,025	0,024	0,249	37,797	1,790	2,251
Caudal méd. :	6,736							6,277	6,249	6,218				

0,1767
0.0464

0,1767
0.0464

0	N	0
22,5	NNE	22,5
45	NE	45
67,5	ENE	67,5
90	E	90
112,5	ESSE	FALSO
135	SE	135
157,5	SSE	157,5
180	S	180
202,2	SSW	202,5
225	SW	225
247,5	WSW	247,5
270	W	270
292,5	WNW	292,5
315	NW	315
337,5	NNW	337,5

Material da Caixilharia da Sala e Quarto:	
Alumínio termolacado com envidraçado duplo	

0,2303	MAX	0,3676
	MIN	0,0920
[REDACTED] VALVENTO APPROX. NULLA		